普通高等学校规划教材

煤矿地质学

Coal Mining Geology

主　编：杨孟达

副主编：刘新华　王　瑛　胡绍祥

CMG

煤炭工业出版社

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

责任编辑：田　园
封面设计：王　滨

ISBN 7-5020-1910-3
9 787502 019105 >

ISBN 7-5020-1910-3/TD12
社内编号：4681　定价：28.00元

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

普通高等学校规划教材

煤矿地质学

主　编　杨孟达
副主编　刘新华　王　瑛　胡绍祥

煤炭工业出版社

内 容 提 要

全书共十四章，分两部分：与煤矿建设、生产相关的基础地质理论和煤矿应用地质工程技术。基础地质理论部分包括：地球概况、地质作用、矿物岩石、古生物地史、地质构造、煤与煤系等。应用地质工程技术部分包括：影响煤矿生产的主要地质因素、矿井水文地质与防治水、煤矿环境地质、地质勘探、主要地质图件、储量管理、地质编录、地质报告与说明书、煤矿地质信息技术等。

本书可作为普通高等学校采矿工程、测量工程、建井工程等非地质类专业教学用书。

普通高等学校规划教材
煤 矿 地 质 学
主编 杨孟达
副主编 刘新华 王 瑛 胡绍祥
责任编辑：田 腻
*
煤炭工业出版社 出版
（北京市朝阳区芍药居35号 100029）
北京密云春雷印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行
*
开本 787×1092mm $^{1}/_{16}$ 印张 $24^{5}/_{8}$ 插页 1
字数 583 千字 印数 3,001—5,000
2000年8月第1版 2003年1月第3次印刷
ISBN 7-5020-1910-3/TD 12
社内编号 4681 定价 28.00 元
版权所有 违者必究
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，本社负责调换

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

前　　言

本书是根据第四届煤炭普通高等学校地质工程学科教材编审委员会下达的任务，为采矿工程、测量工程、建井工程等非地质类专业编写的地质基础课程教科书。

全书共十四章，分为两个部分：与煤矿建设、生产相关的基础地质理论和煤矿应用地质工程技术。基础地质理论部分包括：地球概况、地质作用、矿物岩石、古生物地史、地质构造、煤与煤系等。应用地质工程技术部分包括：影响煤矿生产的主要地质因素、矿井水文地质与防治水、煤矿环境地质、地质勘探、主要地质图件　储量管理、地质编录、地质报告与说明书、煤矿地质信息技术等。本书内容广泛，简明扼要，突出基本理论、基本知识、基本技能，便于学生自学，不同专业可以根据教学大纲要求予以适当取舍。

参加本书编写的有：湘潭工学院杨孟达（绪论，第二章）；黑龙江科技学院王连元（第一章第一、二、三节，第十四章）；焦作工学院汤友谊（第一章第四节，第十一章，第十三章）；太原理工大学赵理中（第三章，第六章）；西安科技学院王瑛（第四章、第八章）；山东科技大学胡绍祥（第五章、第九章）湘潭工学院刘新华（第七章、第十二章）；淮南工业学院胡宝林（第十章）。本书主编杨孟达，副主编刘新华、王瑛、胡绍祥。

本书蒙中国矿业大学田宝霖教授审阅；编写过程中，从始至终得到湘潭工学院院长王文祥教授的支持与指导，在此一并表示衷心的谢意。

编　者

2000 年 3 月

目　　录

绪论 …… 1

一、煤矿地质学的研究对象 …… 1

二、煤矿地质学的研究内容 …… 1

三、煤矿地质学的任务 …… 2

第一章　地球 …… 4

第一节　地球概况 …… 4

一、宇宙和地球 …… 4

二、地球的形状和大小 …… 9

三、地球的表面特征 …… 10

第二节　地球的圈层构造 …… 14

一、地球内圈的划分及其主要特征 …… 14

二、地球外圈的划分及其主要特征 …… 17

第三节　地球的物理性质 …… 20

一、密度 …… 20

二、压力 …… 21

三、重力 …… 21

四、地磁 …… 22

五、地电 …… 24

六、地热 …… 25

七、放射性 …… 26

第四节　地质作用概述 …… 26

一、内力地质作用 …… 27

二、外力地质作用 …… 38

第二章　矿物与岩石 …… 47

第一节　矿物的概念及性质 …… 47

一、地壳中的元素 …… 47

二、矿物的概念 …… 47

三、晶体与非晶体 …… 48

四、矿物的主要性质 …… 49

第二节　常见矿物 …… 55

一、矿物分类 …… 55

二、常见矿物特征 …… 56

第三节　岩石的概念及其分类 …… 61

一、岩石的概念 …… 61

二、岩石的分类 …… 62

第四节　火成岩 …… 63

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

一、火成岩的基本特征 …… 63
二、火成岩的分类 …… 69
三、火成岩的主要类型 …… 71
第五节 沉积岩 …… 72
一、沉积岩的基本特征 …… 72
二、沉积岩的分类 …… 76
三、沉积岩的主要类型 …… 76
第六节 变质岩 …… 78
一、变质岩的基本特征 …… 78
二、变质岩的分类 …… 79
三、变质岩的主要类型 …… 79
第三章 地层 古生物 …… 81
第一节 古生物的地质意义 …… 81
一、古生物及古生物学的概念 …… 81
二、古生物化石在划分对比地层上的意义 …… 82
三、古生物化石在研究古地理及沉积环境中的意义 …… 82
四、古生物的发展演化是地质发展史的重要组成部分 …… 82
第二节 地层划分、对比及地质年代表 …… 83
一、地层划分与对比的概念 …… 83
二、地层划分与对比的方法 …… 84
三、地层单位的分类 …… 88
四、年代地层表与地质年代表 …… 91
第三节 地壳演化简史 …… 91
一、太古宙 …… 91
二、元古宙 …… 91
三、早古生代 …… 93
四、晚古生代 …… 95
五、中生代 …… 99
六、新生代 …… 103
第四章 地质构造 …… 105
第一节 岩层的产状 …… 105
一、岩层产状的概念 …… 105
二、岩层产状要素 …… 106
三、产状的测定和表示方法 …… 108
第二节 褶皱构造 …… 113
一、褶皱构造的概念 …… 113
二、褶曲分类 …… 115
三、褶皱构造的观测与研究 …… 119
第三节 断裂构造 …… 121
一、节理 …… 122
二、断层 …… 126
第五章 煤与含煤岩系 …… 137

第一节　成煤作用 …… 137
一、成煤植物 …… 137
二、成煤作用 …… 137
三、成煤的必要条件 …… 140
第二节　煤的物质组成、性质与分类 …… 142
一、煤岩成分和宏观煤岩类型 …… 142
二、煤的性质 …… 143
三、煤的分类 …… 150
第三节　含煤岩系和煤田 …… 153
一、含煤岩系及其类型 …… 153
二、含煤岩系的组成 …… 154
三、煤田、聚煤期及聚煤区 …… 157
第六章　影响煤矿生产的主要地质因素 …… 161
第一节　煤层厚度变化 …… 161
一、煤层厚度变化的原因及变化特征 …… 161
二、煤层厚度变化对煤矿生产的影响 …… 164
三、煤层厚度变化的研究和处理 …… 165
第二节　矿井地质构造 …… 171
一、褶曲构造 …… 171
二、断裂构造 …… 174
第三节　岩浆侵入煤层 …… 186
一、岩浆侵入对煤矿生产的影响 …… 186
二、岩浆侵入煤层的观测与研究 …… 186
三、岩浆侵入煤层的处理 …… 188
第四节　喀斯特陷落柱 …… 189
一、陷落柱的成因 …… 189
二、陷落柱的特征 …… 190
三、陷落柱的观测与研究 …… 192
四、陷落柱对煤矿生产的影响及处理 …… 194
第五节　矿井瓦斯 …… 195
一、瓦斯的形成与分带 …… 196
二、煤层瓦斯含量的影响因素及其预测 …… 197
三、矿井瓦斯涌出量及矿井瓦斯等级 …… 200
四、防治煤（岩）与瓦斯突出的地质工作 …… 201
第六节　煤层顶底板 …… 202
一、煤层顶底板对煤矿生产的影响 …… 202
二、煤层顶底板条件的研究 …… 203
第七节　地温与矿山压力 …… 206
一、地温 …… 206
二、矿山压力 …… 209
第七章　矿井水文地质与防治水 …… 211
第一节　地下水的基本知识 …… 211
一、自然界中水的循环 …… 211

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二、地下水的概念 …… 212
三、含水层与隔水层 …… 212
四、地下水的分类 …… 213
五、地下水的物理性质和化学成分 …… 218
六、泉 …… 220
第二节　矿井充水条件 …… 222
一、矿井水的来源 …… 222
二、矿井充水通道的分析 …… 224
三、影响矿井涌水量大小的因素 …… 226
第三节　矿井水文地质观测及其水害的防治 …… 228
一、矿井水文地质观测 …… 228
二、矿井水的综合治理 …… 233
第八章　煤矿环境地质 …… 240
第一节　煤矿环境地质研究内容 …… 240
一、煤矿原始环境地质条件和环境质量 …… 240
二、煤矿生产活动引起的环境地质问题 …… 240
三、煤矿环境地质灾害 …… 240
四、煤矿资源保护和环境污染防治方法 …… 241
五、煤矿环境地质监测和分析评价技术 …… 241
第二节　煤矿环境污染因素和危害 …… 241
一、煤矿环境污染因素及其特点 …… 241
二、煤矿环境污染的危害 …… 246
第三节　煤矿环境监测与质量评价 …… 248
一、煤矿环境监测 …… 248
二、煤矿环境质量评价 …… 250
第四节　煤矿环境地质工作 …… 254
一、矿区环境污染的地质调查 …… 254
二、矿区环境污染治理效果的地质调查 …… 256
三、煤矿环境污染源资源化利用地质评价 …… 256
四、矿区环境地质图件编制 …… 256
第九章　地质勘探 …… 260
第一节　地质勘探技术手段 …… 260
一、遥感地质调查 …… 260
二、地质填图 …… 260
三、坑探工程 …… 261
四、钻探工程 …… 262
五、巷探工程 …… 263
六、地球物理勘探技术 …… 263
第二节　煤田地质勘探 …… 264
一、煤田地质勘探阶段 …… 264
二、煤田地质勘探类型 …… 266
三、储量级别和储量分类 …… 269
四、煤田地质勘探程度 …… 271

第三节　煤矿地质勘探 …… 272
一、煤矿地质勘探的任务及特点 …… 272
二、煤矿地质勘探分类 …… 273
第十章　主要地质图件 …… 280
第一节　地形地质图 …… 280
一、地形地质图的概念、内容及作用 …… 280
二、地形地质图的编制方法 …… 281
三、各种地质现象在地形地质图上的表现 …… 281
四、地形地质图阅图步骤 …… 286
第二节　地质剖面图 …… 286
一、地质剖面图的概念、内容及作用 …… 286
二、地质剖面图的编制方法 …… 287
三、各种地质现象在地质剖面图上的表现 …… 290
第三节　水平切面图 …… 291
一、水平切面图的概念、内容及作用 …… 291
二、水平切面图的编制方法 …… 292
三、各种地质现象在水平切面图上的表现 …… 296
第四节　煤层底板等高线图 …… 296
一、煤层底板等高线图的概念、内容及作用 …… 296
二、煤层底板等高线图的编制原理及方法 …… 297
三、各种地质现象在煤层底板等高线图上的表现 …… 300
四、煤层底板等高线图的应用 …… 303
第五节　煤层立面投影图 …… 306
一、煤层立面投影图的概念、内容及作用 …… 306
二、煤层立面投影图的原理及特点 …… 306
三、煤层立面投影图的编制方法 …… 307
第六节　其它图件 …… 309
一、地层综合柱状图 …… 309
二、煤岩层对比图 …… 309
三、水文地质图 …… 312
第十一章　矿井储量管理 …… 313
第一节　矿井储量的分类和特点 …… 313
一、矿井储量的分类 …… 313
二、矿井储量的特点 …… 313
第二节　矿井三量管理 …… 314
一、三量管理的意义 …… 314
二、三量的划分和计算 …… 314
三、三量可采期 …… 315
四、三量的统计与分析 …… 317
第三节　储量动态管理 …… 318
一、储量的动用与损失 …… 318
二、矿产储量表的填报 …… 321
第十二章　地质编录 …… 323

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第一节　原始地质编录的内容及要求 …… 323
一、原始地质编录的内容 …… 323
二、原始地质编录的要求 …… 323
第二节　勘探工程地质编录 …… 324
一、坑探工程地质编录 …… 324
二、钻探工程地质编录 …… 324
第三节　井巷工程地质编录 …… 334
一、井巷工程地质编录方式及其选定依据 …… 334
二、井巷编录步骤与方法 …… 337
三、穿层井巷地质编录 …… 342
四、顺层井巷地质编录 …… 343
五、回采工作面地质编录 …… 343
第四节　原始地质资料整理 …… 344
一、检查、补充和誊清地质记录 …… 345
二、清绘原始地质图件 …… 345
三、建立原始地质资料档案 …… 345
第十三章　地质报告及地质说明书 …… 346
第一节　地质报告 …… 346
一、地质报告的类型 …… 346
二、井田精查地质报告的主要内容及其使用 …… 346
三、矿建地质报告的主要内容 …… 351
四、矿井地质报告的主要内容 …… 353
第二节　地质说明书 …… 358
一、地质说明书的类型与基本要求 …… 358
二、各类地质说明书的主要内容 …… 359
第十四章　煤矿地质信息技术 …… 365
第一节　矿井物探 …… 365
一、坑道无线电波透视法 …… 365
二、槽波地震法 …… 366
三、地质雷达法 …… 368
四、其它方法简介 …… 369
第二节　数学地质 …… 370
一、多元统计分析方法及其在煤矿地质中的应用 …… 370
二、煤矿地质常用的多元统计分析方法 …… 371
第三节　遥感地质 …… 377
一、遥感技术与遥感地质 …… 377
二、遥感图象的地质解译 …… 379
参考文献 …… 382

绪　论

我国煤炭资源丰富，储量和产量均居世界前列。近年来随着国民经济的发展和综合国力的提高，石油、天然气、水力、核电等其他能源有了较大发展，但是煤炭仍然是我国的主要能源，预计在今后相当长的一段时期内这种状况不会有根本性改变。进入21世纪，要求我国煤炭工业深化改革，尽快摆脱粗放经营的旧模式，步入低投入、高产出、高效益的良性循环轨道。煤炭工业的发展依赖煤炭科学技术的进步，其中包括煤矿地质工程技术的进步，加强煤矿地质的理论研究和发展煤矿地质工程技术，对促进煤炭科学技术的进步有十分重要的意义。煤炭行业的工程技术人员（包括采矿、测量、建井、环保等非地质类专业的工程技术人员）掌握扎实的地质理论基础知识，在生产实践中不断深化对煤矿建设、生产中地质规律的认识是十分必要的。

一、煤矿地质学的研究对象

地质学的研究对象主要是地球。地球包括固态地球及其表层的水圈、生物圈和外部的大气圈。固态地球分为外部的地壳、中间的地幔和内部的地核三个圈层。目前主要研究固态地球外部的地壳和地幔的上部。概括地讲，地质学是研究固态地球外层部分的物质组成、构造形态、发展演化以及矿产资源的形成和分布规律等内容的自然科学。

煤矿地质学的研究对象主要是煤矿建设、生产过程中出现的各种地质问题，包括煤层赋存、地质构造、水文地质、工程地质、瓦斯地质、煤尘等方面的情况。煤矿地质学运用地质学的基础理论，查明影响煤矿建设、生产的各种地质因素及其规律性，研究相应的处理方案和措施，保证煤炭资源的正常开采与合理利用。

二、煤矿地质学的研究内容

随着生产的发展与科学技术的进步，地质学的研究领域日渐扩大，针对研究内容的不同，划分出越来越多的分支学科，当今的地质学实际上已经发展成为一系列既互有区别又互有联系的学科体系。

煤矿地质学作为地质学的一个分支学科，基本上属于矿产地质学的范畴，其重要特点之一是研究内容有很强的综合性，即研究范围广泛，不仅涉及地质学的基础理论，而且涉及到地质学的许多应用分枝。

煤矿地质学主要研究内容包括：

(1) **矿物学、岩石学**　研究岩石圈的物质成分、形成机理、时空分布特征和变化规律。重点研究与煤矿产有关的造岩矿物和沉积岩。

(2) **构造地质学**　研究构造运动和构造运动引起的岩石圈的构造变动及其发展演化规律。重点研究与煤矿产关系密切的节理、断层、褶皱的形态特征、力学性质、发展规律及其对煤矿产的破坏与控制作用。

(3) **古生物学、地史学**　研究生物起源、发展、演化的规律和地球形成、发展、演变的历史。重点研究含煤地层中有代表性的动物、植物化石，含煤地层在地质历史时期中的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

形成过程与演变规律。

(4) **煤田地质与勘探** 研究煤的物质组成、性质、分类，成煤作用，聚煤环境，含煤地层与煤田的时空分布特征；研究煤田地质勘探与矿井地质勘探的技术手段与勘探方法。

(5) **水文地质学** 研究地下水的赋存状态和分布规律。重点研究矿井水的来源、特征、涌水量变化规律与防治水措施。

(6) **瓦斯地质学** 研究煤层瓦斯的形成机理、赋存状态和分布特征。重点研究煤层瓦斯含量变化规律及其控制因素。

(7) **矿井地质学** 研究矿井地质编录、矿井地质制图、矿井地质报告及说明书的编制、矿井储量管理等。

近年来，越来越多的信息技术引入地质学的研究领域，逐步形成一些地质学与信息学相结合的地质信息技术分支学科，如遥感地质学、数学地质、应用地球物理学等。地质信息技术已在煤矿地质工作中逐步得到推广应用，成为煤矿地质学的重要研究内容，并且很可能成为学科发展的新的生长点。煤矿地质信息技术丰富和增强了解决煤矿地质问题的手段和能力，提高了煤矿地质预测预报的精度和可靠性。尽管煤矿地质信息技术目前还不够完善，但其强大的生命力和广阔的应用前景是不容置疑的，预计煤矿地质学今后将进一步朝信息化方向发展。

三、煤矿地质学的任务

煤矿地质学的任务是研究从矿井基本建设开始直至开采结束为止全过程中的所有地质现象，找出其规律，解决煤矿建设、生产中出现的各种地质问题。

煤矿地质学的主要任务如下：

(1) 研究煤矿地质规律 根据地质勘探部门提供的原始地质资料和煤矿建设生产中披露出来的地质现象，研究矿区煤系地层、地质构造、煤层和煤质的变化规律，查明影响煤矿建设、生产的各种地质因素。

(2) 矿井地质工作 进行矿井地质勘探、地质观察、地质编录和综合分析，提交煤矿建设、生产各阶段所需的地质资料，处理采掘工作中的地质问题。

(3) 矿井储量管理 计算和核实矿井储量，测定和统计储量动态，分析储量损失，编制矿井储量表、为提高矿井储量级别和扩大矿井储量提供依据，为生产正常接替、资源合理利用服务。

(4) 水文地质调查 地面与井下相结合，开展矿区水文地质调查。查明矿井水的来源、涌水通道、涌水量大小及其影响因素与变化规律，研究和制定防治水措施与方案，同时为煤矿生产、生活寻找和提供优质水源。

(5) 地质灾害预测预报 对危及煤矿建设生产的各种地质灾害，如瓦斯突出、水害、热害、煤尘、崩塌、滑坡等，查明其形成机理，对各类地质灾害的分布范围、突发时间及危害程度进行预测预报，提出防范措施与治理方案。

(6) 环境地质调查 开展矿区（井）环境地质调查工作，查明污染矿区（井）环境的地质因素及其危害程度，研究环境地质的治理措施，配合环保部门提出矿区（井）环境保护方案。

(7) 矿产资源综合利用 调查研究煤系地层中伴生矿产资源的性质、特征、储量、分布规律和利用价值，为化废为宝、综合利用、保护环境、提高煤矿经济效益提供依据。

自然界的地质现象是十分复杂的，不同的煤矿区（井）之间其地质规律既有共同性，又有特殊性。煤矿地质工作方法应该遵循实践—理论—再实践的原则，在深入地下坑井调查研究、系统全面积累原始资料的基础上，经过去粗取精、去伪存真、由表及里、由此及彼地整理归纳和综合分析，最后上升为理论认识。并且，要运用这些理论去指导生产实践，使其在实践中得到检验、充实、完善和发展。只有使理论认识逐步深化，才能更深刻、更客观地反映煤矿区（井）的地质规律。

总之，煤矿地质学是随着煤矿建设生产、煤炭资源开发利用而逐步形成与发展起来的，相信煤炭科学技术的日益进步将促进煤矿地质学进一步发展和完善，为中国煤炭工业的腾飞发挥越来越大的作用。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第一章 地 球

矿产是人类赖以生存和发展的重要资源，它赋存于地壳（地球表面的一层薄壳）之中。地壳中各种矿产资源的形成都与地球表面以及地球内部的地质作用有关。地质作用的能源既有来自地球内部的能源，也有来自地球外部的太阳能及宇宙能。在系统学习煤矿地质学的主要内容之前，应了解有关地球的知识。

第一节 地 球 概 况

一、宇宙和地球

地球处于广袤无垠的宇宙之中，是太阳系的一个行星，而太阳又是银河系中的一颗普通恒星，宇宙则是由许许多多像银河系甚至更庞大的星系团所组成。因此，要正确认识地球就应首先了解宇宙中的天体。

（一）宇宙中的天体

宇宙是指我们周围的物质世界。“宇”是空间的概念，“宙”是时间的概念。宇宙在空间上是无边无际的，它没有形状，没有中心，在任何一个方向上都没有终点；宇宙在时间上是无始无终的，因为时间是伴随物质的运动和变化而产生的概念。宇宙空间包罗万象，大至地球、太阳系、银河系、总星系，小至分子、原子、基本粒子，举凡一切客观存在，皆包含于宇宙之中。

宇宙空间充满着形形色色的物质，它们处在不断的运动和变化之中。随着科学技术的发展，人类对宇宙的认识范围不断扩大，目前我们所观测到的宇宙范围称为总星系，半径约 100 多亿光年。总星系内的星体并不是均匀分布的，一群一群的恒星组成旋涡状、椭圆状、透镜状以及其它不规则形状，称为星系。总星系中约有十亿个星系。星系有大有小，小的由几万个恒星组成，大的由上千亿个恒星组成。星系与星系之间的平均距离约为 1.6 亿光年。太阳所在的星系叫银河系，银河系以外的星系叫河外星系。

（二）银河系

银河系是一个巨型旋涡状星系，正面呈旋涡形，侧面呈扁饼形。银河系大约包含 1 500 多亿颗恒星，除此以外，还有星云等星际物质和各种射线。银河系的直径约 10 万光年，是太阳系直径的 8 000 万倍，中心厚度约 0.66 万光年。太阳距银河系中心约 27 700 光年。

银河系的主要成员是恒星。恒星是由炽热气体组成的能自己发光的球状天体。维持恒星辐射的能来自氢的热核反应。夜空中所见的点点繁星绝大多数是恒星。太阳在银河系中是一颗中等恒星。恒星的大小、质量、密度、发光强度、表面温度等有着很大的差异。银河系中有些恒星体积比月球还小，亮度只是太阳亮度的几十万分之一，密度却比太阳大几十万倍；有些恒星体积比太阳大 100 亿倍，亮度也比太阳大几十万倍，而密度却只有太阳的几亿分之一；有的恒星表面温度高达几万度，而有的恒星表面温度只有几千度。

银河系中除恒星外，还有很多星云。星云是由气体和尘埃物质组成的星云雾状外表的天体。同恒星相比，星云具有质量大，体积大、密度小的特点。星云有各种形状，有的大星云直径为太阳系的 26 300 倍，而密度却只有太阳的几十分之一到几百分之一。星云有发光的亮星云和不发光的暗星云。

在恒星和星云等星体之间的广阔空间并非虚空无物，而是充满着星际物质。它是由星际尘埃（直径 0.3～3μm）和星际气体（主要有 Ca、Na、K、Ti、Fe、H 等元素）组成，密度很小，只有地面大气的万亿亿分之一。近年来在星际空间还发现了各种复杂的有机分子，如氰基、氨、甲醛、甲醇等，说明宇宙中并不只是单纯的无机世界，这对观测研究生命起源问题有重要意义。星际物质能吸收可见光和 X 射线，但不吸收红外线和无线电波。

宇宙射线是来自宇宙的高能粒子，主要是质子（氢原子核），占射线的 87%；其次为 α 粒子（氦原子核），占 12%；还有少量其它原子核、电子和高能粒子（如 X 射线、γ 射线等）。宇宙射线的能量一般小于 10^{17}eV。宇宙射线的带电粒子传播到地球时与大气层的原子相互碰撞使能量大大削弱，减至约 10^{10}eV，并使大气电离产生新的粒子。

（三）太阳系

太阳系是银河系的一个普通成员。太阳是太阳系的中心天体，它的质量巨大，能发出强烈的光和热。围绕太阳旋转的是一个行星体系（图 1—1）。此外，还有许多小行星、彗星、陨星等小天体。太阳系目前以冥王星轨道为边界，直径为 11.8×10^{9}km。在太阳系的九大行星中以木星最大，水星最小（图 1—2）。

太阳系中主要成员的特征如下：

1. 太阳

太阳是离地球最近的一颗恒星，它与地球之间的平均距离为 1.5×10^{8}km（这个距离称为 1 个天文单位），光从太阳发出传播到地球需时 8 分 16 秒。太阳的直径为 1.39×10^{6}km，约为地球直径的 109 倍；体积约为地球体积的 130 万倍；质量是该系各行星系总质量的 150 倍，是地球质量的 33.3 万倍，占太阳系总质量的 99.86%；平均密度是地球平均密度的 1/4；太阳表面的重力加速度为地球表面重力加速度的 27.9 倍。

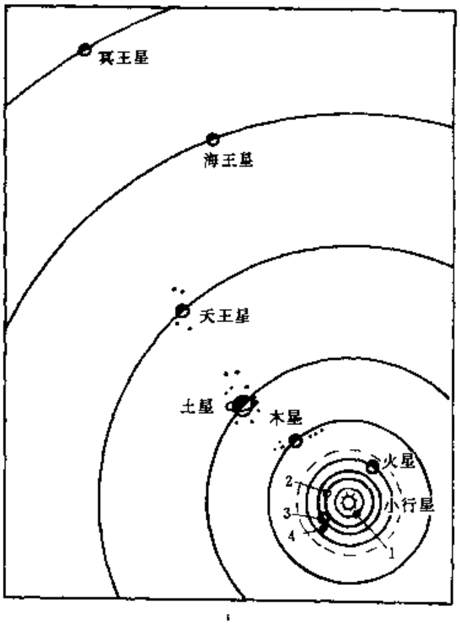


图 1—1　行星围绕太阳旋转示意图
1—水星；2—金星；3—地球；4—月亮

根据对太阳的光谱分析，得知太阳大气中有 73 种元素，其中以氢、氦为最多，氢占太阳总质量的 71%，氦占 26.5%，氧、碳、氮、氖等气体约占 2%，镁、镍、硅、硫、铁、钙等约占 0.4%以上，其余 60 多种元素不足 0.1%。太阳是个炽热的气体球，我们能直接观测到的是太阳的大气层。它从内向外分为光球、色球和日冕三层。人们看到的太阳圆轮为光球层，色球、日冕只有在日全蚀时用特殊仪器才能观测到。光球层通常被称为太阳表面。太阳表面的平均温度约为 6 000K，它中

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

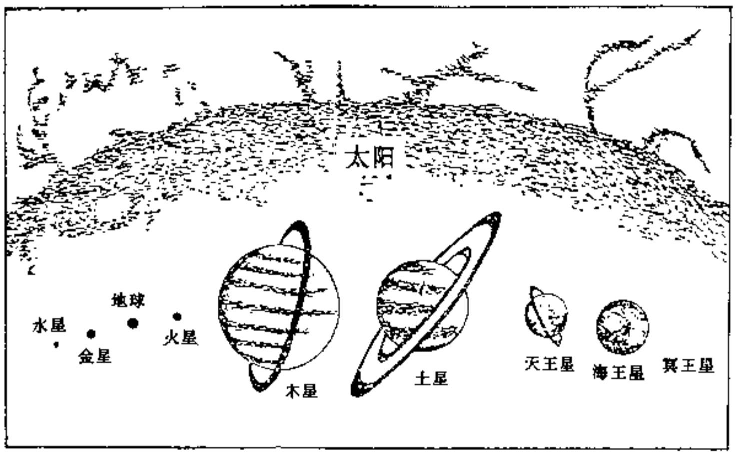


图 1－2　太阳和九大行星大小比较

心的温度高达 1.5×10^7K。所以，太阳上的物质不可能凝固，而是一个炽热的气体球，既没有岩石圈，也没有水圈。太阳的中心压力可达 10^{11}Pa，太阳内的物质在这样高的温度和压力条件下产生核反应，即由 4 个氢原子聚变为一个氦原子，这是太阳发光发热的能量来源，所以太阳能向周围连续地辐射能量，其中只有 22 亿分之一辐射到地球上，而这些能量却给地球以极大的生命力，并引起各种外力地质作用。

在太阳表面赤道及其附近的光球层中，常可出现黑子，在色球层中常见耀斑。黑子是太阳光球上巨大的旋涡状气流，它的温度比光球表面温度低 1 000～1 500K，因此在明亮光球的衬托下它显得阴暗些；当黑子最多时，在黑子群上空色球层中出现温度达 1.5×10^4～1.0×10^6K 的亮点即耀斑。由于地球距太阳较近，太阳辐射中大量的宇宙射线、X 射线等微粒流和表面上的活动变化对地球都有很大影响。大量的微粒流会影响地球高空大气层的物理反应。例如，太阳上突然出现耀斑和黑子大量增多时，会引起地球上空电离层发生变化、地球两极地区出现极光、地球磁场受扰动产生磁暴等，并对气候变化产生影响。

2. 行星

目前已知太阳系有九大行星。按照它们与太阳的距离，由近到远，依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星。地球排在第三位，位置适当，温度适宜，还有氧气和水，适于生物生长，成为太阳系中唯一有生命存在的天体。

太阳系的九大行星在空间分布的距离有着高度的规律性；各大行星绕日运行的方向都同太阳的自转方向一致，它们绕日运行的轨道（除冥王星外）都是扁率不大的椭圆，而且轨道平面都和太阳的赤道平面很接近；各大行星除绕日公转外都绕固定的轴自转，除金星外它们的自转方向均相同。例如，地球一方面绕着地轴自西向东作自转，同时又绕太阳公转。地球绕太阳公转时始终是侧着身子（地轴与公转轨道平面斜交，目前其交角为 66°34′）在公转轨道上运行。地球公转轨道全程长约 9.4×10^8km，地球约以 30km/s 的平均速度在公转轨道上运行，公转一周需 365 日 5 时 48 分 46 秒。地球自转一周需 23 时 56 分 4 秒。根据长期观测的结果，地球自转速度是不均匀的，一年中秋季稍快而春季稍慢（春、秋季就

北半球而言）。从总的趋势看，地球的自转速度在逐渐变慢，但幅度极小，据过去 2 000a 的观测记录，大约每过 100a，一昼夜要长 0.01s。

各行星的有关物理参数见表 1－1。

表 1－1 九大行星的物理参数

行星	质量		赤道半径		扁率	体积与地球比	平均密度	表面重力加速度与地球比	逃逸速度
	g	与地球比	km	与地球比	$\frac{a-c}{a}$		g/cm³		km/s
水星	3.33×10^{26}	0.0554	2 440	0.383	0.0	0.056	5.46	0.37	4.3
金星	4.87×10^{27}	0.815	6 050	0.949	0.0	0.856	5.26	0.88	10.3
地球	5.976×10^{27}	1.000	6 378	1.000	0.0034	1.000	5.52	1.00	11.2
火星	6.421×10^{26}	0.1075	3 395	0.532	0.009	0.150	3.96	0.38	5.0
木星	1.900×10^{30}	317.94	71 400	11.22	0.0648	1.316	1.33	2.64	59.5
土星	5.688×10^{29}	95.18	60 000	9.41	1.108	745.000	0.70	1.15	35.6
天王星	8.712×10^{28}	14.63	25 900	4.06	0.0303	65.200	1.24	1.17	21.4
海王星	1.029×29^{29}	17.22	24 750	3.88	0.0259	57.100	1.66	1.18	23.6
冥王星	1.40×10^{25}	0.0024	1 350	0.212	?	0.009	1.50	0.05	1.2

（数字来源于《中国大百科全书》，1980．12）

根据九大行星的物理性质和化学性质，可将其分为类地行星和类木行星两类，前者包括水星、金星、地球和火星，其特点是距离太阳近、体积和质量都小、平均密度大、表面温度较高、中心有铁核、金属元素含量高、卫星少或无。后者包括木星、土星、天王星和海王星，其特点与前者恰好相反。

3. 卫星

卫星是围绕行星运行而自身不发光的天体。随着空间技术的发展，已发现太阳系的九大行星，除了水星和金星以外，均有卫星绕转。其中，火星有 2 颗，木星有 16 颗，土星有 23 颗，天王星有 15 颗，海王星有 8 颗，冥王星有 1 颗。

月球是地球唯一的天然卫星。它是离地球最近的一个天体，月球中心到地球中心的平均距离为 384 400km。月球绕地球公转的同时还绕自转轴运转，因其自转与公转的周期相同，所以月球朝向地球的一面始终不变。月球的直径为 3 476km；质量约为地球质量的 1/81；平均密度为水的 3.3 倍，只相当于地球密度的 3/5；月面上自由落体的重力加速度为地球表面重力加速度的 1/6。

月球表面没有任何形态的水，完全没有大气，几乎接近真空状态。因此，月球上没有生命，更没有风、云、雨、雪等天气现象，是一个十分寂静的世界，但月球有火山喷发、造山运动和月震等现象。月球表面分布着许多四周高而中间凹的环形山，环形山的特点是内坡陡而外坡平缓。人们认为环形山主要是由流星体、彗星和小行星不断撞击月球表面而形成的；此外，有中央山的大环形山可能是火山喷发而形成的。由于月球上没有大气和水，环形山不易遭受风雨破坏，因而能够得以长期保存下来。

根据人们对从月球表面各处带回来的岩石、土壤的分析，发现其成分与地球表层的玄武岩相似，其中所含的主要元素有：O、Si、Fe、Al、Ca、Mg、Ti、Na、K、Mn、C、N 等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

月球离地球很近，在月球引力作用下，地球表面的物质会发生潮汐现象，如海水的潮汐现象。

4. 小行星

在火星和木星之间存在着大批小行星，现已发现5 000颗以上，其中编号命名的有2 900多颗。在未发现小行星之前，根据行星轨道经验公式推算，在火星与木星之间应有一颗行星存在，后在1801年终于发现了第一颗小行星——谷神星，直径约为1 000km，是最大的小行星。根据推算，有几万颗小行星存在。小行星的直径大部分在60～70km以下，小的只有几百米，有的小行星虽然比卫星还小，但由于它们以太阳为中心公转，因此，应归于行星中，也有人称其为"准行星"。研究小行星，有助于探索太阳系的起源和发展。

5. 陨星

在太阳系中还有许多比小行星更小的绕太阳运行的大群流星体，当它们接近地球时，如被地球的引力俘获并吸向地球，便形成陨星。由于其运动速度很大（每秒几十千米），与空气分子发生激烈的摩擦生热而燃烧发光。冲进大气层的陨星大部分被烧毁变成气体和尘埃，但也有少数较大的陨星没有完全燃烧，其残余部分降落到地面上而成为陨石。有时，陨星冲进大气层燃烧一段时间后，可先在高空爆炸，其碎块象"石雨"似的降落到地面上，形成陨石雨，如我国吉林市1976年3月8日出现的一次世界罕见的陨石雨现象。这次陨石雨落到地面的陨石，已收集到100多块，总重达2 700kg以上。其中超过100kg的有三块，最大的一块重达1 770kg，为目前世界上最大的一块石陨石。

目前虽然可以向月球发射载人飞船，有航天飞机飞向太空，但是迄今人类能够从太阳系直接获得的物质，主要还是陨石。研究陨石无论对于探索太阳系，还是地球的成分、起源和演化都有十分重要的意义。

从目前人们收集的陨石看，种类很多，按其成分可分为石陨石、铁陨石、石铁陨石三大类。石陨石的主要成分是硅酸盐类矿物，接近玄武岩的成分；铁陨石的主要成分是铁和镍；石铁陨石的主要成分是自然铁和硅酸盐矿物。这二类陨石中，石陨石最多，但个体较小；铁陨石较少，但个体较大，如我国新疆地区的一块铁陨石重约30t；石铁陨石最少。

据分析，陨石中含量最多的元素是Fe、S、Si、Co、Ni、Ca、O等，与组成地球的成分相似。另外，对澳大利亚的一颗陨石的分析发现，有18种氨基酸和其它有机物，这给研究宇宙生命起源提供了宝贵的资料。

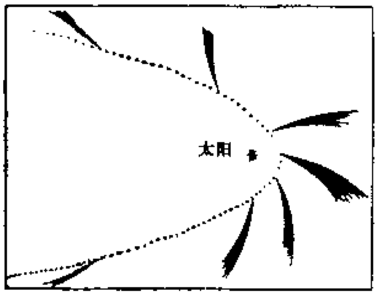


图1—3 彗星接近太阳对彗尾的变化

6. 彗星

彗星是在扁长轨道上绕太阳运行的一种质量较小的呈云雾状外貌的天体。其特征是有一条明亮的长尾，越接近太阳尾巴越长，而且总是背向太阳（图1—3）。彗星由彗头和彗尾构成，彗头又可分为彗核和彗发。一般认为彗核由冰和夹杂的细尘粒组成，很明亮；彗发是彗核外层的明亮的云雾状包层，由彗核产生的气体和尘埃组成，其成分为气体、金属蒸汽的原子、分子及固体尘粒；彗尾形似扫帚状，由气体离子、原子和分子组成。彗星接近太阳时，太阳加热作用使彗核表面的冰升华为气体，向外膨胀，同时带出微尘，形成彗发。彗发中的气体和微尘被太阳风排斥，在背向太阳的一

而形成一条很长的彗尾。彗尾的长度为 $2\times10^{8}\sim3\times10^{8}$km，直径为 $5\times10^{4}\sim25\times10^{4}$km。组成彗星的物质很稀薄，彗发的密度只有地面大气密度的 $1/(2\times10^{16})$。

太阳系中的彗星很多，平均每年新发现6颗，现已发现绕太阳运行的彗星有1600多颗。彗星的运行轨道与行星有很大不同，有的为偏心率很大的椭圆形，有的为抛物线形，彗星的运行周期长短不一，著名的哈雷彗星的运行周期是76a，上次出现于1985～1986年。

彗星的成分与类木行星相似，基本由氢和氮组成，近年来新发现有甲基氰（CH_3CN）和氰化氢（HCN）两种分子，这在太阳系中是没有的，只是银河系的稠密星云中才有，因此认为彗星是来自太阳系以外的天体。研究彗星的成分对了解太阳系形成的早期阶段有一定的意义。

综上所述，宇宙中的天体运动情况是错综复杂的，然而又是有规律的，它们之间相互制约、相互联系地运动和发展着。

从太阳系到银河系乃至目前人类所能观测到的总星系可以看出，地球在宇宙中的地位的确是非常渺小的，宛如沧海一粟。然而正是地球具备生命形成和发展的优越的自然条件，产生了人类，能够探索宇宙的奥秘。在目前的宇宙空间中，尚未发现存在生命的其它天体，因此说地球在宇宙中是既普通又特殊的天体。

二、地球的形状和大小

关于地球的形状和大小，人们的认识经历了一个由圆球体到二轴椭球体，到三轴椭球体，又到梨状体的不断深化的过程。很长时间以来，地球一直被认为是球状体，当最早使用较精确的三角测量法对地球的形状进行研究时，发现通过极点的半径与赤道半径相差21km，认识到地球不是一个理想的球体，而是沿旋转轴被压扁。后来，牛顿从理论上证明，在引力作用下，地球沿旋转轴方向受挤压力作用，使其具有椭球或旋转椭球体的形状。牛顿的这一理论和计算，被后来在各国完成的经线或纬线弧的测量所证实；同时这些测量还表明，地球不仅沿两极方向被压扁，而且沿赤道也有某种程度的被压扁，最大和最小赤道半径长度相差213m，也就是说，地球不是两轴的，而是三轴的椭球体。根据卫星轨道分析发现，地球也并非是标准的旋转椭球体，而是一个梨状体，北极凸出约10m，南极凹进约30m，中纬度在北半球凹进，在南半球凸出（图1—4）。

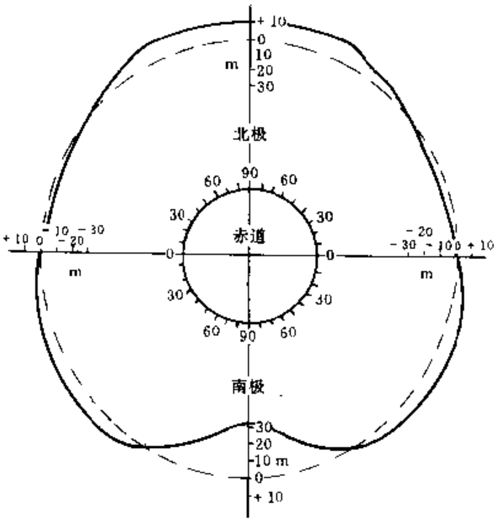


图1—4 大地水准面（实线）与旋转椭球面（虚线）的关系示意图

实际的地球表面崎岖不平，为了便于测算，以平均海面通过大陆延伸所形成的封闭曲面作为参考面，此参考面称为大地水准面。地球的形状和大小通常就是指大地水准面的形状和大小。大地水准面是一个等位面，其上的重力方向处处都与该表面垂直，这样就可以

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

引入重力的概念，结合大地测量对地球的形状和大小进行研究。目前利用人造卫星轨道变化作校正，已经可以相当精确地求得地球的各种数据。表1—2为1975年第十六届国际大地测量和地球物理学会（IUGG）决议采用的根据人造卫星观测及卫星轨道变化推算的地球形状数据。

表1—2 地 球 形 状 参 数

赤道半径(a)	6 378.140km	子午线周长	40 008.08km
两极半径(c)	6 356.779km	表面积	$5.100\,7\times10^{8}$km^2
平均半径$(a^2c)^{1/3}$	6 371.0	体积	$1.083\,2\times10^{12}$km^3
扁率$\left(d=\frac{a-c}{a(\text{赤道半径})}\right)$	1/298.275	地球质量(M)	$(5.974\,2\pm0.000\,6)\times10^{24}$kg
赤道周长	40 075.24km	万有引力常数(G)	$(6.672\pm0.004)\times10^{-11}$m^3·kg^{-1}·s^{-2}

（据 IUGG，1975）

三、地球的表面特征

地球的表面积大约为5.1亿km^2，分为陆地和海洋两大部分（图1—5）。陆地面积约为1.48亿km^2，约占地球表面积的29%；海洋面积约为3.62亿km^2，约占地球表面积的71%。海陆面积之比约为2.5∶1，它们在地球表面分布极不均匀，65%以上的陆地分布在北半球。地球表面形态最明显的特征是高低起伏不平。大陆的平均海拔高度为0.88km，最高处为珠穆朗玛峰，海拔8 848.13m，最低点为死海，达－397m；海洋底的平均深度为3.7km，最深处为太平洋马里亚纳群岛东侧的马里亚纳海沟，深达11 033m。以平均海平面为标准，地球表面上的高度统计有两组数值分布最广泛：一组在海拔0～1 000m之间，占地球总面积的20.8%；一组在海平面以下，其中又以4 000～5 000m深的海盆面积最广，占地球总面积的22.6%（图1—5a）。

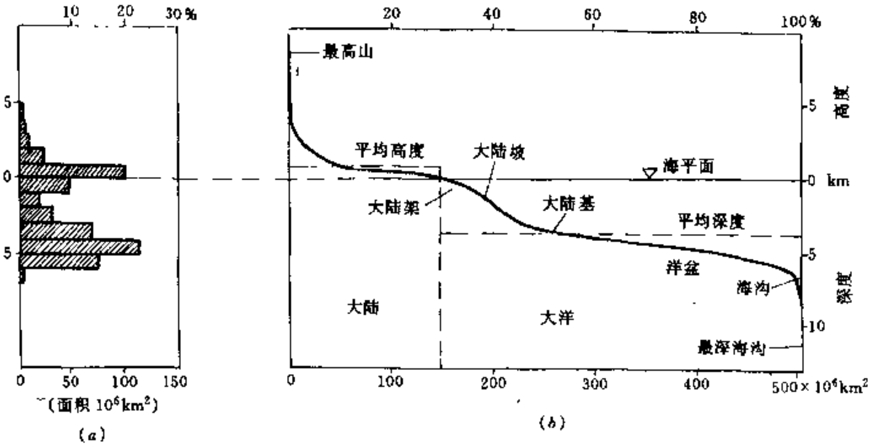


图1—5 地表各高程间的面积分配

（a）直方图；（b）高深曲线

（一）陆地的表面形态

按照高程和起伏特征，陆地表面可分为山地、丘陵、平原、高原、盆地和洼地等地形。

1．山地

山地是指地形起伏较大，海拔高程大于500m，相对高程在200m以上的地区。其中，海拔在500～1 000m的称为低山；1 000～3 500m的称为中山；大于3 500m的称为高山；呈线状分布的山地称为山脉，如欧洲的阿尔卑斯山脉，亚洲的喜玛拉雅山脉等。

2．丘陵

丘陵是指介于山地和平原之间的高低不平、连绵不断的低矮浑圆的小山丘地形。一般高程在海拔500m以下，相对高差多在数十米，最大高差不超过200m。如我国的川中丘陵、东南丘陵。

3．平原

平原是指面积较大、地势平坦或略有起伏的地区。其内部相对高差一般不超过数十米。世界上最大的平原是亚马孙平原，面积达560万km^2。我国有华北平原、松辽平原、长江中下游平原等。

4．高原

海拔高程在600m以上，表面较为平坦或略有起伏的广阔地区称为高原。世界上著名的高原有伊朗高原、埃塞俄比亚高原、巴西高原及我国的蒙古高原、青藏高原等。其中，青藏高原是世界上最高的高原，海拔4 000m以上；巴西高原是最大的高原，面积达500万km^2以上。

5．盆地

盆地是指四周为高原或山地，中央为低平的平原或丘陵地区，因其外形似盆而得名。如我国的四川盆地，柴达木盆地等。

6．洼地

陆地上高程在海平面以下的地区称为洼地。新疆的鲁克沁洼地低于黄海平均海水面155m，是我国陆地的最低处。

（二）海底的表面形态

海底地形和大陆地形一样复杂多样，而且在规模上更庞大，外貌上更为奇观。既有比大陆更广泛、更平坦的平原，也有更险峻、更宏伟的山脉和深陡的峡谷。但因海底不象大陆那样长期经受着各种外力的破坏，而是受以沉积作用为主的改造，故总体上看仍比大陆表面简单些。

根据海底地形的基本特征，可将其分为大陆边缘、海岭、海沟、深海盆地等地形单元。

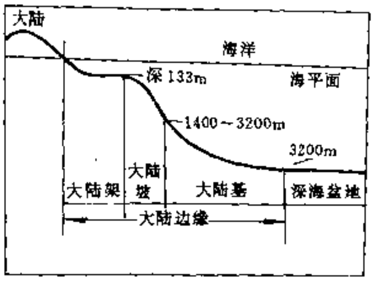


图1—6　大陆边缘地形示意图
（垂直比例夸大）

1．大陆边缘

大陆边缘是大陆与大洋盆地之间的连接地带，占海底总面积的1/5左右。它包括大陆架、大陆坡和大陆基，但大陆基实际上是大陆坡和大洋盆地的过渡地带。大陆架是大陆边缘的主要地形单元（图1—6）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1）大陆架

大陆架是紧靠大陆分布的浅海台地，是大陆在水下的自然延伸部分，其范围是由海岸线向外海延伸，直至海底坡度显著增大的转折处。大陆架部分的海底坡度平缓，一般小于0.3°，平均约为0.1°。大陆架的水深一般不超过200m，最深可达550m，平均水深130m，平均宽度75km。欧亚大陆的北冰洋沿岸的大陆架最发育，宽达500km以上；印度洋沿岸的大陆架最不发育。我国的大陆架宽度从100km多到500km多不等，水深一般为50m左右，最大水深可达180m。

2）大陆坡

大陆坡是位于大陆架外缘到深海海底，地形明显变陡的地带。其水深一般不超过2 000m，平均坡度为4.25°。大陆坡以斯里兰卡附近珊瑚礁岸外缘最陡，其坡度可达35°～45°，大陆坡的宽度约为20～100km，平均为20～40km。坡脚的深度为1 400～3 000m左右。

大陆坡在许多地方被通向深海底的深海“V”形峡谷所切割。这些深海峡谷深达数百米，两壁陡峭，可达45°以上。有的峡谷可能是被淹没的河谷。但是，大多数峡谷是由近海底含有大量悬浮碎屑物质，密度较一般海水大的浊流冲蚀而成。

3）大陆基

大陆基也称为大陆裾，是大陆坡与大洋盆地之间的倾斜坡地。坡度通常为5′～35′，多分布于水深2 000～3 000m的海底，主要由海底滑塌浊流和海流搬运的碎屑物堆积而成。海沟发育的太平洋地区没有这一地形单元，而在海沟不发育的印度洋、大西洋中大陆基则广为分布。

2. 海岭

一般将海底山脉称为海岭。其中，位于大洋中间，常发生地震和地壳运动较强烈的海岭称为洋脊或洋中脊。

洋脊或洋中脊为海底线状隆起地带，呈一系列鱼鳍状山脉，其中部最高，中央部位常有一条巨大的裂谷，称为中央裂谷，谷深可达1～2km，谷宽可达13～48km，如图1－7所示的大西洋洋中脊。太平洋洋中脊因其裂谷不明显而称之为洋隆或洋中隆。洋中脊通常高出海底2～3km，宽度可达1 500～2 000km。洋中脊在各大洋中均有分布，且相互衔接，全长65 000km，占地球表面积近1/4，是地球表面最大的“山系”。

3. 海沟

平行于岛弧或沿着大陆边缘呈断续延伸的两壁较陡、狭长的水深大于6 000m的深海槽称为海沟。海沟是地球表面最低洼的地区，其长一般在500～4 500km，宽40～120km，深度多在6 000m以上。全球已知海沟近30条，多发育于太平洋和大西洋；印度洋的海沟不甚发育。海沟多位于大洋盆地的边缘，其两侧边坡中靠近大洋侧的边坡较缓，而靠近大陆侧则较陡（图1—8）。

海沟的一个重要特点是在其靠近大陆的一侧有一条与其平行的隆起地形。若海沟紧靠大陆时，该隆起地形为海岸山脉，二者组成海沟－山弧系；若海沟靠近大陆一侧为海时，该隆起则是呈弧形排列的岛屿，弧顶朝向大洋一侧，称为岛弧，二者组成海沟—岛弧系。海沟—岛弧系是地球表面地震频繁的地带，并有火山分布。

通常将大陆边缘分为两类。一类由大陆架、大陆坡和大陆基组成，这类大陆边缘主要分布于大西洋，称为大西洋型大陆边缘；另一类大陆边缘是由大陆架、大陆坡及海沟组成，

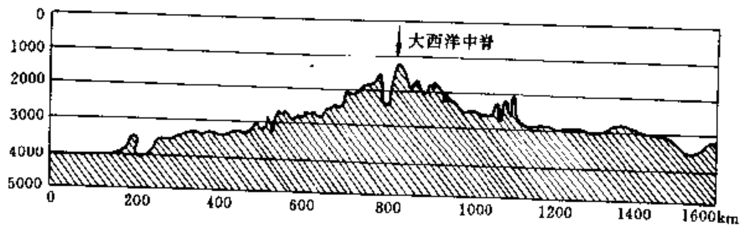


图 1—7 横过大西洋中脊的剖面图

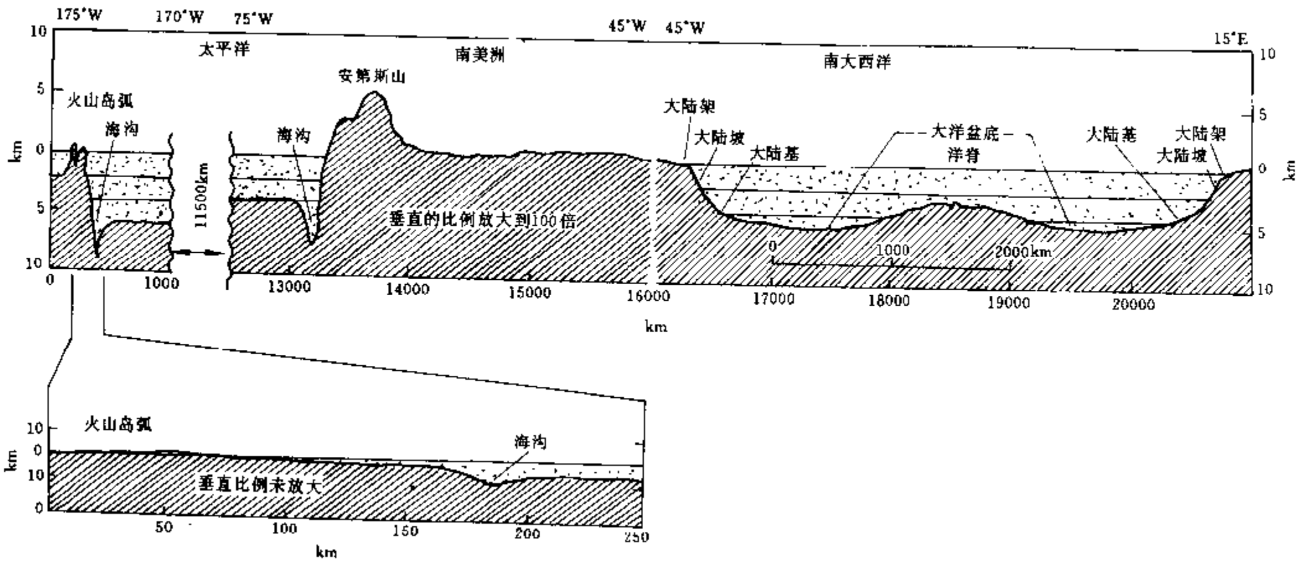


图 1—8 地球表面沿南纬 20°～25°间的地势剖面图
（垂直比例尺放大 100 倍）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

它主要分布于太平洋，称为太平洋型大陆边缘。

4. 深海盆地（大洋盆地）

深海盆地是海洋中另一类大型地形单元，它是介于大陆边缘及洋中脊之间的平坦地带，是海底地形的主体，约占海洋面积的43%，平均深度在海平面以下4 000～5 000m，深海盆地中主要有三种地形。

1）深海丘陵

由一些比较低缓的小山丘组成，这些小山丘底宽1 000～10 000km，高50～1 000m，边坡较陡，顶部平缓，呈圆形或椭圆形穹形丘，几乎全部由玄武岩组成。一般认为是由靠近洋脊的海底火山形成的。在太平洋中，这类地形覆盖了80%～85%的洋底，是地球表面分布最广的地形单元。

2）深海平原

是被来自大陆的沉积物覆盖的靠近大陆边缘的平缓地形。坡度很小，均小于1/1 000，广布于大西洋底，是地球表面最平坦的地区。

3）海山

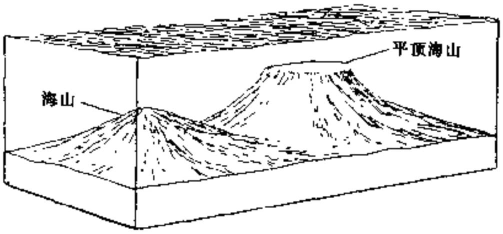


图1—9 海山和平顶海山

海山是深海底部孤立或比较孤立的隆起地形，相对高度在1 000m以上，隐没于水下或露出海面。其中有一类呈锥状者，称为海峰。太平洋上的夏威夷群岛即为一系列海峰，其高出海底5 000m以上，其中冒纳开亚火山海拔4 205m，高差在9 000m以上。海峰大多由火山岩组成。有的海山顶部平坦，称为平顶海山（图1—9）。平顶海山的成因，一般认为是高度在海平面附近的海山顶部被海浪作用夷平，后来由于区域性沉降没入水下而成。

第二节 地球的圈层构造

目前的研究表明，地球不是均质体。其物质组成的分布呈同心圈层结构，大致以地壳表层为界分为地球的内部圈层和外部圈层。内部圈层和外部圈层又可进一步划分为几个不同的圈层，每个圈层都有自己的物质运动特征和物理、化学性质，对地质作用各有程度不同的、直接或间接的影响。

一、地球内圈的划分及其主要特征

（一）地球内圈的划分

地球内圈即地球内部的圈层。地球内圈直接的观测资料较少，目前，最深的钻孔也仅一万多米。对地球内部构造的研究主要是利用地球物理学和天体物理学的资料，得出较为确切的内部圈层构造模式（表1—3）。表1—3中各参数的得出依据是：

（1）根据地震波的研究将地球内部划分为若干个圈层。

（2）根据重力资料结合地震波研究得出的纵波速度（V_P）、横波速度（V_S）和深度，可求出各圈的密度分布。

(3) 根据横波的有无及波速的变化，推断出各圈层的物态（固态、塑性状态和液态）。

(4) 由波速及介质的弹性参数可求出重力值及压力值。

表 1-3 地球内部圈层和物理数据

圈层 名称		代号		深度 km	地震波速度 km/s 纵波 V_p	地震波速度 km/s 横波 V_s	弹性 $10^6N/cm^2$ 体变模量	弹性 $10^6N/cm^2$ 切变模量	密度 g/cm^3	压力 $10^{11}Pa$	温度 ℃	附注
地壳（陆壳）		A	A′	0	5.6	3.4	0.44	0.26	2.6	0.000	14	岩石圈
					6.0	3.6	0.51	0.3	2.7			
				10						0.003	180-300	
			A″		6.6	3.8	0.68	0.4	2.9			
					7.6	4.2	0.7	0.5	3.0			
莫霍面				33						0.01	400—1 000	
地幔	上地幔	B	B′		8.0	4.4	1.17	0.63	3.32			
	低速带		B″	60	8.2	4.6	1.2	0.68	3.34	0.019	500 1 100	软流圈
				100	7.8	4.2	1.25	0.67	3.4	0.031	700 1 300	
				150	7.7	4.0	1.36	0.64	3.5	0.049	800—1 400	
				250	8.2	4.35	1.46	0.7	3.6	0.068	1 000-1 600	
				400	9.0	4.98	1.87	0.92	3.85	0.14	1 200—2 000	
		C	C′	650	10.2	5.65	2.58	1.32	4.1	0.218	1 300—2 250	
			C″	1 000	11.43	6.35	3.53	1.87	4.6	0.[illegible]	1 850—3 000	
	下地幔	D	D′	2 000	12.8	6.92	5.11	2.48	5.1	0.87	2 500—3 900	
				2 752	13.63	7.31	6.5	3.0	5.6	1.31	2 800—4 300	液态
			D″		13.32	7.11	6.45	2.96	5.7			
古滕堡面				2 898						1.50	2 850—4 100	
地核	外核	E			8.1	0.0	6.3	0.0	9.7			
				3 500	8.9	0.0	8.2	0.0	10.4	1.93	3 700—4 700	
				4 640	10.4	2.07	12.2	0.51	12.0	2.98	4 500—5 500	
	过渡层	F		4 900	10.4	1.24	12.2	0.2	12.5	3.2	4 700—5 700	
				5 155	11.0	3.6	13.4	2.08	12.7	3.32	4 720—5 720	
	内核	G		5 500	11.2	3.7	14.0	1.7	12.9	3.5	4 900—5 900	
				6 371	11.3	3.7	14.1	1.3	13.0	3.7	5 000—6 000	

（据成都地质学院《动力地质学原理》，略有修改）

(5) 根据各圈层的密度、波速及其与岩石性质之间的关系，结合陨石和矿物岩石的高温高压实验等，推断各圈层的物质组成。

(6) 根据各圈层的物态推断该处岩石的熔点，再结合已知的地热流数据和岩石导热性推算各圈层的温度。

根据地震波速度的变化特征，可以将地球内部划分出两个最明显，也是最重要的界面，即莫霍面和古滕堡面。根据这两个界面，地球内部划分为地壳、地幔和地核三个一级圈层。

莫霍面是南斯拉夫地球物理学家莫霍罗维契奇于 1909 年首先发现的，是地壳与地幔的分界面。由于地壳的厚度各地不同，所以莫霍面不是一个平坦的界面，而是高低起伏的。在大陆上其深度约为 33km 左右；在大洋底则为 11～12km。地震波在穿过莫霍面时，波速突然增大，V_p 由 6～7km/s 左右突然增至 8km/s。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

古滕堡面是美国地球物理学家古滕堡于1914年提出来的，是地幔与地核的分界面，位于地表下约2 900km处。地震波穿过此界面时波速突然降低，V_p由13.32km/s突然降至8.1km/s，V_s则降为零，表明横波消失。因此可推断古滕堡面以下的地核部分为液态物质。

除上述两个界面外，还有一些次一级的地震界面，它们是进一步划分二级或三级圈层的依据。

（二）地球内圈的主要特征。

1. 地壳

地壳即A层，是地球最外的一个圈层。地壳的厚度变化很大，大洋地壳较薄，平均厚7km，最厚处约11km，最薄处不足2km；大陆地壳较厚，平均厚35km，最厚处可达80km，说明地壳下界是起伏不平的，厚的地方已陷入上地幔中。整个地壳平均厚度约16km，只有地球半径的1/400，所以说地壳仅仅是地球表面的一层薄壳。

地壳由上、下两层组成（图1—10），上地壳（即A′层）叫硅铝层或花岗岩质层，因其与以硅、铝为主的花岗岩质岩石一致。这一层只有大陆壳才有，大洋壳缺少此层，因此呈不连续分布。下地壳（即A″层）叫硅镁层或玄武岩质层，因其与由硅、镁、铁、铝组成的玄武岩相当。大陆及大洋下面均有此层，呈连续分布，但陆壳硅镁层成分不如洋壳硅镁层均匀，混合有大量变质程度很深的中酸性成分。

地壳表层长期与大气和水接触，遭受各种外力地质作用的改造，形成了一层沉积层，其厚度变化较大，最厚可达10km，平均厚度1.8km，局部地区缺失。

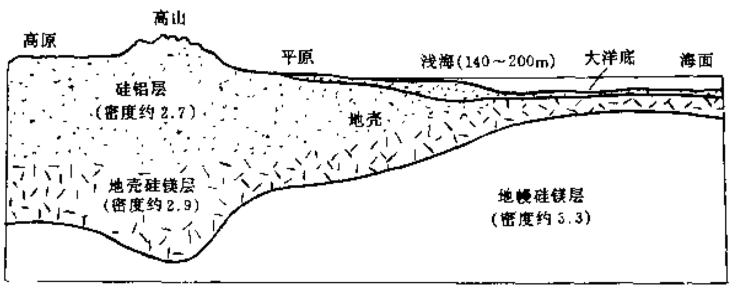


图1—10 地壳结构示意图

2. 地幔

地球内部位于地壳与地核之间的构造层为地幔，也叫中间层，即B、C、D层，介于莫霍面和古滕堡面之间。厚2 800km以上，体积约占整个地球的82.3%，质量占整个地球的67.8%，是地球的主体部分。根据地震波速度变化特征，将地幔在地下1 000km处分为上、下两层。

上地幔（B、C两层）的平均密度为3.5g/cm^3。根据密度、波速以及地质和陨石等资料，上地幔的物质成分基本上相当于含铁、镁很高的超基性岩，称为地幔岩。

上地幔中地震波速度变化较为复杂，表明其物质状态是多变的。深度在60～400km范围内，地震波速度下降，在400km以下速度又逐渐上升，其中在100～150km深处降至最低，形成低速带。低速带的边界不像其它圈层那样清晰，尤其是底界的深度不很确定。一般

认为，低速带是由于该带内温度增高至接近岩石的熔点，但尚未熔融的物态引起的。低速带内有些区域横波不能穿过，表明该区域的温度已达到岩石熔点以上而形成液态区，可能是岩浆发源地。由于低速带塑性较大，为上部固态岩石的活动创造了有利的条件，因此，构造地质学中将低速带称为软流圈，其上由固态岩石组成的地壳和上地幔的B′层合称岩石圈。

下地幔（D层）密度较高，达5.1g/cm^{3}以上，深度从1 000～2 900km，地震波速度增加较慢，可以认为是压力增加而成分均匀的缘故，其物质成分一般认为仍是以铁镁硅酸盐矿物为主，其化学成分与上地幔无明显差别。

3. 地核

自古滕堡面以下至地心的地球中心部分为地核。其厚度为3 473km，占地球体积的16.3%，占总质量的1/3。根据地震波速度变化，可将地核分为外核、过渡层、内核三层。

外核（E层）平均密度约10.5g/cm^3，厚度1 742km。由于纵波速度急剧降低，横波不能通过，证明外核是液态物质，温度超过了岩石的熔点。

过渡层（F层）厚度只有515km，波速变化复杂，并测到速度不大的横波，可能是液态向固态过渡的一个圈层。

内核（G层）厚1 216km，平均密度12.9g/cm^3。测得纵波与横波，从地面接收到的横波是由纵波转换形成的，因此，肯定内核是固体。

二、地球外圈的划分及其主要特征

（一）地球外圈的划分

地球外部圈层是指包围地球表层的地球组成部分。根据其物理性质和状态的差异可分为大气圈、水圈和生物圈，它们包围着地球，各自形成连续完整的外圈层。地球外圈的形成是地球长期演化的结果。大气圈和水圈的形成先于生物圈，尔后才开始有生命的滋生和生物界的发展，而生物圈的形成又对大气、水及地球表层的演变产生巨大的影响。

由于地壳的运动，给地球外圈增添了许多来自地球内部的物质成分；而外圈又在太阳能的作用下对地球表层的面貌不断进行改造。许多重要矿产如煤、石油、岩盐、石膏和大部分的铁、铝等等的形成都与这一过程密切相关。

（二）地球外圈的主要特征

1. 大气圈

大气圈由包围在地球最外部的气体组成。厚达几万千米，总质量约为5.3×10^{18}kg，约为地球总质量的百万分之一。由于受地心引力作用，地球表面大气最稠密，几乎全部大气集中在距地面100km以内的高度范围，并且其中3/4又集中在10km的高度范围内，因此，接近地面的大气密度最大，向外，大气密度逐渐稀薄，最后过渡为星际气体，因而大气圈的上界没有明显的界限。

接近地表的大气压力也最大，随高度的增加大气压力减小。海平面平均气压约为1.013MPa，至20km高度，大气压力约为地面压力的1/10。

大气温度随高度的增加而呈不规则的变化。在距地面约10km高度内，温度随高度增加而下降；在10～50km高度内，温度则随高度的增加而增高；在50～80km高度内，温度又随高度的增加而降低，最低可达－100℃，在80～500km高度内，温度又随高度增加而增高；500km高度以外为等温。

大气的成分随高度的不同也发生变化。100km以下的大气即通常所谓的空气由18种

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

气体混合而成，主要成分为氮和氧（表1—4）。其中CO_2、O_3、H_2O等次要成分对地质作用有较大意义。

低层大气中除气体外，还含有数量不定的大气微粒，包括液滴和固体粒子，其来源有陆地的岩石、矿物，土壤的尘粒，海洋的盐粒和生物的孢子、花粉等。它们虽然在含量百分比上没有多大意义，但大气中的水汽可借助它们凝结成雾、云、雨、雪，形成各种天气现象。因此，大气微粒对地表的气象变化起重要作用。

表1—4 低层大气成分百分比

	N_2	O_2	Ar	CO_2	
体积 %	78.084	20.946	0.934	0.033	
质量 %	75.523	23.142	1.280	0.05	
	Ne	CH_4	O_3	H_2O	其他
体积 %	18×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1×10^{-5}	0.010～2.8	0.001
质量 %	13×10^{-4}	1×10^{-4}	2×10^{-5}	0.006～1.7	0.005

根据大气温度、密度等物理特征，可以将大气圈自地球表面向外依次分为对流层、平流层（或同温层）、中间层、热层（电离层）和散逸层（图1—11）。其中，与人类及地质作用最密切的是对流层，其次是平流层。

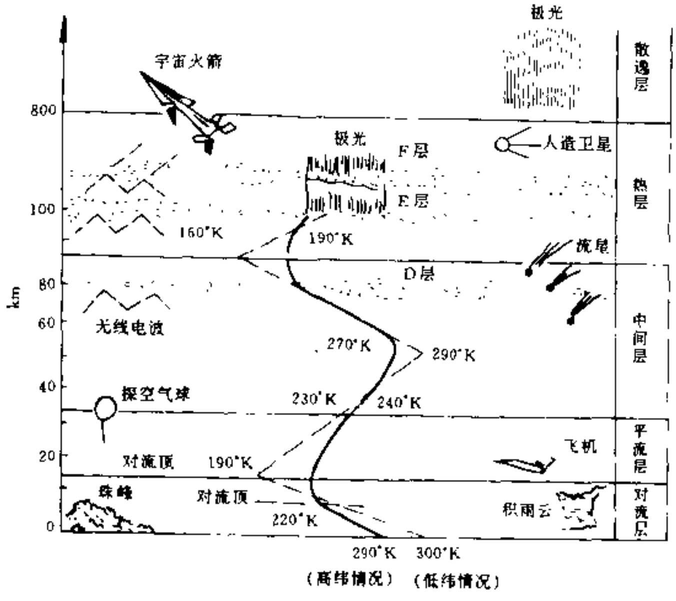


图1—11 大气圈的分层

对流层位于大气圈的最下部，自地表至平流层底界。其厚度在赤道地区最大，约为17km；两极最薄，约为8km；平均为10.5km。

对流层中的氮和氧约占98.5%。氮是植物制造蛋白质的主要原料；氧是生命活动的必

要条件，也是促进岩石等氧化分解的重要成分。二氧化碳的平均含量为0.03%，集中在大气圈底部，主要来自有机物的氧化和生物的呼吸。它强烈地吸收地面长波辐射并放出热量，对地表起着一种保温作用，同时它也是促进岩石分解的重要因素之一。水汽含量的变化很大，一般为0%～4%，为大气的不定组分，主要来自水圈的蒸发。水汽可以保护大气的湿度，并能吸收地面长波辐射的热能(类似于二氧化碳的保温作用)。水汽在物态变化过程中要放热或吸热，从而使地面的昼夜温差减小，保持大气和土壤中的温度；水汽还是形成对流层中各种气候变化的重要成分。可见对流层的各种组分对外力地质作用都有着直接或间接的影响。

对流层的温度主要来自地面的红外辐射。这种辐射是由太阳光辐射加热地表后再辐射出来而产生的。因此，对流层的气温随高度增加而降低，平均每升高100m气温降低0.6℃。地面空气经加热而上升，引起大气的对流，大气对流是对流层最重要的特征，它导致各种气象现象（如风、雨、雷电、雪等）的发生。对流层直接影响大气圈下生物的生长和对地球表层的改造，是大气圈中产生地质作用的重要圈层。

平流层是从对流层顶到50km高度范围的大气层。平流层的气温随高度的增加而增加，甚至达到0℃以上，这说明它已不受地面热辐射的影响，增温的原因是由于层内臭氧的存在。臭氧是由氧分子受太阳紫外线辐射而分离成氧原子，多数氧原子又结合成氧分子，还有少数氧原子与氧分子结合而形成臭氧。位于平流层内的臭氧层厚度约20km，分布在15～35km的高空范围内。平流层气温的增高正是由于臭氧吸收了太阳大量的紫外线辐射而使大气温度升高，形成了下冷上热的温度分布。这种温度分布使平流层大气没有垂直的对流运动，只有水平的流动。同时，由于臭氧层中的臭氧吸收了太阳辐射中大量的紫外线，保护了人类和动、植物的生存，成为生物圈的天然保护伞。

2. 水圈

水圈是地球表层水体的总称。水体是指由天然或人工形成的水的聚积体，例如海洋、河流（运河）、湖泊（水库）等。海洋是水圈中最大的水体，占水圈总水量的96.5%，冰川、永久积雪及永久冻土层的地下冰约占1.76%，其余则以河流、湖泊、沼泽、地下水、土壤水及大气水的形式分布。这些水体包围着地球，构成一个断断续续的圈层。生物圈中的水仅占全球总水量的0.000 1%，一般不作为水圈的组成部分。

水圈中各种水体的分布见表1－5。

表1－5 地球水圈的构成

水体	面积 km^2	体积 km^3	平均深度 m	水圈总水量 %
海洋	361 300 000	1 338 000 000	3 700	96.5
地下水	134 800 000	23 400 000	174	1.7
土壤水	82 000 000	16 500	0.2	0.001
冰川和永久积雪	16 227 500	24 064 100	1 463	1.74
永久冻土层的地下冰	21 000 000	300 000	14	0.022
湖泊	2 058 700	176 400	85.7	0.013
沼泽	2 682 600	11 470	4.28	0.0008
河流	148 800 000	2 120	0.014	0.0002
大气水	510 000 000	12 900	0.025	0.001
合计	510 000 000	1 385 983 490	2 718	100

（据《中国大百科全书》，1987）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

陆地水和海洋水是水圈的两大组成部分。海洋水为水圈的主体，它与陆地水的物质成分和物理性质有很大差别。陆地水总体上虽然较海洋水少得多，但它们广泛分布于陆地上，活力大，对陆地地形的改造起重要作用。

海水含盐度高，平均约为35‰。以氯化物（NaCl、$MgCl_2$ 等）为主；大陆水体含盐度低，平均小于1‰，以重碳酸盐 $Ca(HCO_3)_2$ 为主。

水圈中的海洋水在太阳辐射能的照射下，大量蒸发，形成水蒸气，进入大气圈的对流层中，随空气对流带至大陆上空，凝结降落。地面降水在重力作用下沿地面或渗入地下流入海洋，于是在海陆之间形成了水的循环。由于水分的不断循环，加之地形的影响，便在大陆上形成了河流、湖泊、地下水、沼泽以及冰川等不同特征的水体，这些水体在运动过程中不断改造地表，并且塑造出各种各样的地表形态。同时水圈也为生物的生存、演化提供了必要的条件。

3. 生物圈

生物圈是地球上生物生存和活动的范围，包括动物、植物和微生物。生物分布很广，在大气圈10km高空，地壳3km深处，以及深海底部都发现有生物存在。因此，生物圈与大气圈、水圈及地壳之间的界线并不是截然分开的。生物在地球上的分布虽广，但大量生物多集中在地表和水圈上层，特别是阳光、空气和水分充足而温度又适宜的地区，包围着地球，形成一个完整的封闭面。生物圈的总质量为114 800亿t。

自地球上出现生物以来，通过其生命过程的光合作用和呼吸作用，使碳、氢、氧、氮及一些金属元素产生复杂的化学循环，形成一系列生物地质作用，从而改变地球表面物质成分和结构，但具体过程尚不十分清楚，有待今后进一步深入研究。

在生物圈中，最富活力的是微生物，它们有惊人的繁殖力。在适宜的环境条件下，硅藻每小时即可增加一倍，照此速度八天内分裂的物质质量就与地球的质量相当；同样，一个细菌在四天半的时间内便可繁殖 10^{36} 个，完全可以将整个海洋填满，只是由于它们聚积到一定稠密度时，因得不到必需的养分而停止繁殖。在地质作用中，细菌活动的踪迹随处可见，因此，对细菌的作用不可忽视。

第三节 地球的物理性质

地球的物理性质包括地球的密度、压力、重力、地热、磁性、电性、放射性等。地球的物理性质从不同角度反映了地球内部的物质组成、状态和结构。

一、密度

根据万有引力公式计算得出地球的质量为 5.796×10^{21}t，再由地球的形状参数可求得地球的体积为 $1.08\times10^{12}km^3$，由此可求出地球的平均密度为 $5.52g/cm^3$。但是，实测的地表岩石的平均密度为 $2.7\sim2.8g/cm^3$，说明地球内部物质应具有比地表更大的密度。根据地震波速度变化的结果，也证实了这一点。地球内部密度变化的计算结果如图1－12所示，总趋势是随深度增加而增大，但呈不均匀的阶梯状。在大约400、650、900、2 900和4 640km处均有明显的变化，其中2 900km处变化最大，至地心密度达最大值 $13g/cm^3$。密度的这些变化反映了地球内部物质成分和状态的变化。

二、压力

地球内部压力是由上覆地球物质质量产生的静压力。其大小与地球内部物质的密度及该处的重力有关，可由静力平衡公式（1—1）求得：

$$P_h = h\rho_h g_h \tag{1—1}$$

式中 h——深度；

ρ_h——h 深度处地球内部物质的平均密度；

g_h——h 深度处的平均重力加速度；

P_h——h 深度处的压力。

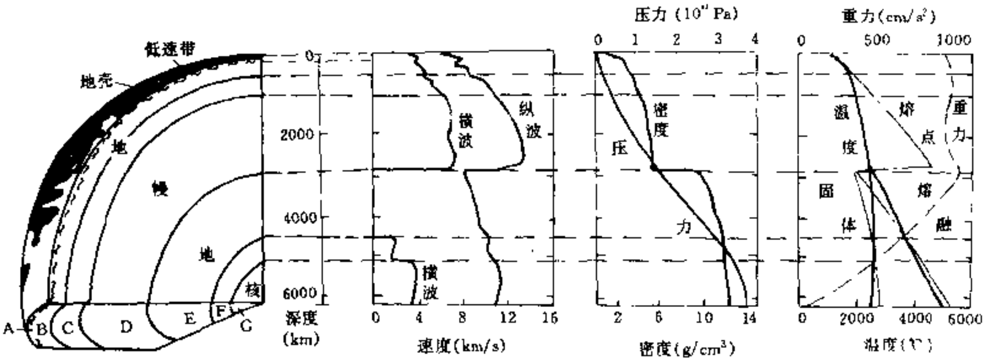


图 1—12 地球的物理性质变化曲线

A—地壳；B—上地幔上部；C—上地幔下部；D—下地幔；E—外核；F—过渡带；G—内核

根据计算结果，地球内部压力的变化随深度增加而增大，大致为一圆滑曲线（图 1—12）。地壳的平均密度约 2.75g/cm^3，深度每增加 1 000m，压力增加 27.5MPa。深部随着岩石密度的加大，静岩压力增加得更快些，静岩压力在莫霍面附近约为 1 200MPa，在古登堡面附近约为 135 200MPa，地心处可达 361 700MPa。

三、重力

（一）重力的概念

重力是垂直地球表面使物体向下的一种天然作用力，它是由地心引力和地球自转而产生的惯性离心力的合力（图 1—13*a*）。地心引力与距离成反比，因此，地表的地心引力以赤道最小，两极最大；离心力与地球自转的线速度成正比，故地表以赤道处的离心力最大，两极最小（图 1—13*b*）。离心力相对地心引力来说是相当小的，以赤道来看，也不过只有该处地心引力的 1/289，因此，重力方向仍大致指向地心。

地球重力作用的空间称为地球重力场。地表上某一点的重力场强度相当于该点的重力加速度，单位为 m/s^2。

由于地心引力随纬度变化，故地表（以大地水准面为准）重力分布以赤道地区最小，为 9.78m/s^2；两极最大，为 9.83m/s^2；平均为 9.80m/s^2。两极比赤道地区重力增加 0.53%。对于地表上某一纬度上相当于海平面高度的重力值（g_0），可以由公式（1—2）求得：

$$g_0 = 9.780\,318\,(1 + 0.005\,302\,4\sin^2\varphi - 0.000\,005\,8\sin^2 2\varphi) \tag{1—2}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中　φ——地理纬度；

g_0——海拔为0时的重力加速度，m/s²。

上式是1971年的国际大地测量及地球物理协会通过的。

由上式求得的重力值称理论值（正常重力值）。重力除与地理纬度有关外，还受地表地形起伏及地球内部物质的密度及其分布状态的影响。一般情况下，通过地球表面重力值变化的情况，可以大致了解地球内部（尤其是地壳）的密度变化特征。

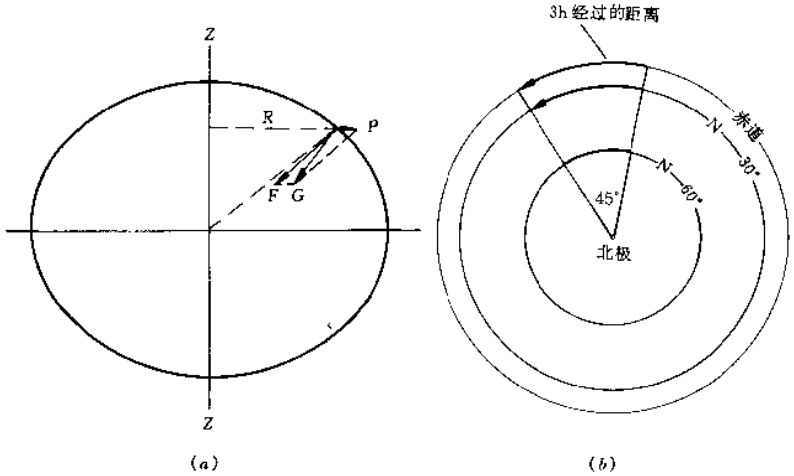


图1—13　重力与地心引力、离心力的关系（a）和线速度随纬度变化（b）示意图

（二）重力异常和地球内部的重力变化

地表实际测定的重力值往往与理论值不符，这种现象称重力异常。实测值大于理论值的，称正异常；实测值小于理论值的，称负异常。

造成重力异常的原因一方面是由于测点不一定都位于平均海平面的高度，这样测点与平均海平面高度之间的物质，以及周围物体的引力都会影响该点的重力值；另一方面，地壳不同部分物质的密度不同也影响重力值。在地下由密度较大物质如铁、铜、锌、铅等重金属矿物和基性岩等组成的地区，常显示正异常，而由密度较小的物质如石油、煤、盐类等组成的地区，常显示为负异常。

从重力的实测数据来看，大陆部分的重力异常大都低于正常值；海洋部分又多为正异常。这说明地球表层的大陆部分物质密度较小，海洋部分物质密度较大。从我国东部沿海地区到西部高原，重力异常逐渐降低，这反映了我国地壳厚度变化的总趋势是东薄西厚。

重力在地球内部随深度增加而呈不规则的变化（图1—12）。在地表的重力值为9.80m/s²；至665km深处增至9.95m/s²；然后又逐渐降低，至2 000km深处为9.86m/s²；再向深处又显著增加，至2 750km处，达极大值10.50m/s²；再向深处又开始减少，且幅度较大，至地心降为零。重力值的这种变化反映了地球内部物质密度变化的情况。

四、地磁

（一）地磁场的基本特征

地球周围空间存在着磁场，称地磁场。理论和实践证明，地磁场近似于磁偶极子的磁场，它有两个磁极，磁北极为磁偶极子的S极，磁南极为磁偶极子的N极。地磁场的南北两极与地理南北两极不在一处，磁轴与地球自转轴的夹角为11°44′（图1—14）。磁极的位置随时间的变化而不断变化。1970年地磁北极位于加拿大北部帕里群岛（76°N，101°W），地磁南极位于南极洲（66°S、140°E）。

由于地磁极和地理极不一致，因此地磁子午线（磁南极与磁北极在地表的连线）与地理子午线（地理南北两极在地表的连线）之间有一夹角，这个夹角称为磁偏角，偏在地理子午线东边的叫东偏角，符号为正；偏在地理子午线西边的叫西偏角，符号为负。另外，还发现磁针只是在地磁赤道地区才保持水平，而在磁南极和磁北极地区则处于直立状态，在地磁的两磁极与地磁赤道之间的地区则与水平面有一定的夹角，这个夹角称为磁倾角，以指北针为准，下倾者为正（北半球）；上倾者为负（南半球）。磁针的偏、倾程度实际上反映了磁针在磁场中所受磁力的大小。

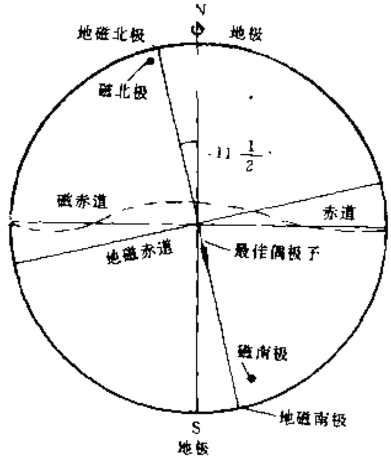


图1—14　现代地理极与地磁极的关系示意图

地磁场是一个弱磁场，其平均磁场强度为$0.6\times 4\pi\times 10^{-3}$A/m。地磁场强度是一个矢量，在任何一点上的总地磁场强度F均可分解为水平分量H和垂直分量Z。水平分量称为水平磁场强度，它的方向也就是磁子午线方向，习惯上以向北为正，水平分量又可按地理方向分解为北向分量X和东向分量Y；垂直分量称为垂直磁场强度。这样加上磁偏角D和磁倾角I，共七个分量。由X、Y、Z或H、D、I均可确定该点地磁场强度的大小和方向，所以把它们称为地磁要素（图1—15）。在实际工作中，通常是先测定H、D、I三个分量，然后计算其余四个分量。

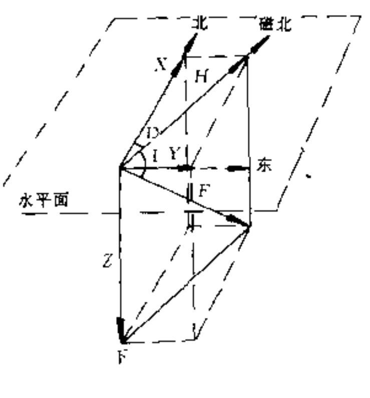


图1—15　地磁要素示意图

F—总地磁场强度；H—水平分量；Z—竖向分量；X—北向分量；Y—东向分量；D—磁偏角；I—磁倾角

根据各地观察值分析证明，地磁场主要来自地球内部（占全部场强的94％），地球以外因素的影响较小，其余则可能是地壳中的磁性矿物引起的。关于地磁的起源，目前较流行的假说是根据自激发电机理论提出来的，该假说认为地磁场可能起因于地核内部的物质对流。它的出发点与目前对地球物理特性的了解一致，即认为外地核是一个导电的金属流体，它可能原来就具有微弱的磁性，在其持续的差异运动和对流的同时，可产生一定的感应电场和磁场，和发电机的工作原理类似，但这一假说仍对许多问题未能作出圆满解释。

（二）地磁场的变化及磁异常

实际观测表明，地磁场随时间变化。1922年至

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1972 年间，磁北极在纬度上移动了 2°，磁南极则移动了 4°25′。随着磁极的移动，各地地磁要素也在发生变化，由于这个缘故，国际组织规定，每 5 年需重编世界地磁图。一般认为，地磁场的这种变化是由磁轴变化引起的，而磁轴的变化则是地球内深部物质运动引起的。

地磁场的变化有短期变化和长期变化两种，短期变化是由地球外部原因引起的，有日变化、年变化和突然性变化。日变化的磁偏角变化幅度为几分；年变化可能与电离层及太阳活动的变化有关；突然性变化表现为几天或几小时的磁场强度大幅度变化，这种突然性变化称为磁暴，平均每年发生几次，强度可达几个安培每米。磁暴可导致无线电通讯中断，极光出现等，它与太阳黑子、空间电流等现象有关。长期性变化的原因尚无定论，可能是地核或地幔物质运动在速度上的差异引起的。

地磁要素长期变化，必须经常测量。通过设在各地的地磁台所测的地磁要素数据，经校正并消除了地磁的短期和局部变化的影响所得到的磁场值叫正常值。如果在实际测定中所测的地磁要素值与正常值偏离，称为地磁异常。地磁异常多为地下磁性物质存在局部变化的标志，可以据此勘测出地下的磁性岩体和矿体，如磁铁矿、镍矿、超基性岩等高磁性的矿物和岩石，其磁异常值大于正常值而表现为“正异常”；金矿、铜矿、盐矿、石油、花岗岩等属低磁性或反磁性的矿物和岩石，其异常值小于正常值而表现为“负异常”。

（三）古地磁

古地磁是指地质历史时期的地磁场。岩石在其形成过程中因受古地磁场的影响而获得磁性，这些受磁化的岩石在磁场发生改变后，仍可将原来磁化的性质部分地保留下来，形成剩磁，它可以指示当时地磁场方向，因此称之为古地磁。如果含有剩磁的岩石形成时间和地点为已知，便可恢复当时的古地磁场状况。

目前，研究岩石中的剩磁已形成专门学科，称为古地磁学。它对解决大规模的构造运动历史、古气候以及探索地球起源等问题都有很重要的意义。

五、地电

（一）地电的来源及其在地内的分布

地球具有电性，这是人们早已熟知的事实，如发电厂以大地作为回路，大气高空电离对地面的感应电场在大雷雨时的放电（最大电位差可达 100V/m），岩体的温差电流，大面积的地磁场感应电流等均说明地球带有电性。

地球内部的电性与地内物质的电导率和磁导率有关，磁导率一般变化不大，而电导率变化较大。地壳的电导率与岩石成分、孔隙度、孔隙水的矿化度有关。实验结果表明，沉积岩的电导率大于结晶岩；孔隙度大而且充水的岩石电导率大于孔隙度小而无孔隙水的岩石；孔隙水矿化度高的大于矿化度低的岩石等等。另外还与岩石的层理有关，沿层理方向的电导率大于垂直层理方向的电导率。温度对电导率的影响更大，熔融岩石比未熔融的同类岩石的电导率大几百至几千倍，因此，地热流大的地区电导率也大。电导率随深度增加而增大，在 60～250km 和 400～1 000km 处分别有一次较明显的变化，前者可能是物质熔融引起的；后者则可能是地内物质发生相变所致。

（二）地电场的变化和地电异常

大地电流主要是地磁场变化直接感生的，因此其强度和方向均有变化。同地磁场一样，地电场也有日变、月变、年变等周期性变化及不规则的干扰变化，这些变化同样是由于地球外部因素如太阳辐射、宇宙射线和大气电离层变化引起的。地电干扰称为电暴，其强度

变化大，时间有长有短，长的可延续几天，短的只有几分钟，常与磁暴同时发生。

利用大地电磁场的分布及频率的变化，可以研究地球内部高导电层的分布及深度，但是由于地电场经常受日变和磁暴的影响而发生变化，因此也须像地磁测定一样设固定观测站连续观测，消除外加电场的影响，取得正常电场值。将附近地区实测的地电场值与其比较，如有偏差，则为地电异常。局部的地电异常反映出可能存在的矿体或地质构造。如硫化物矿体可产生自发电流，地面电流流向矿体，在矿体附近电位下降，形成负电位中心，电位差可高达 700mV。石墨也产生负电位，而无烟煤则产生正电位。

六、地热

许多自然现象表明，地球蕴藏着巨大的热能。据估计，通过地表传导辐射到空间的热量达 $2\times10^{20}\times4.1840$J，相当于现代人类消耗的总能量的 10 倍以上。地球内部的总热量估计为地球全部煤炭储量的 1.7×10^{8} 倍。

（一）地球内部温度及其变化

根据大陆地表以下地温的来源和分布状况可以把地内温度分为三层。

1. 外热层（变温层）。

外热层为地球表层的一个温度层，温度主要来自太阳的辐射热能。这部分热能对地球来说是很少的，且其中大部分又辐射回空中。太阳热能影响的深度不大，仅能传送到地下几十米深，平均深度约为 15m 左右，这种影响明显受季节和昼夜变化的控制。

2. 常温层（恒温层）

常温层为外热层的底界面以下的地带，此层的温度常年不变，大致为当地年平均气温。

3. 内热层（增温层）

位于常温层以下，其温度来自地球内部的热源，总的趋势是温度随深度的增加而升高。

内热层中的温度变化可用地温梯度来表示。地温梯度也叫增温梯度或地热增温率，其定义是深度每增加 100m 温度升高的度数。地球上不同地区的地温梯度有所不同，其值在 0.9～5.2℃之间，在火山地震区和年轻山区还要大些，因这些地区下面多半有较高的地热源。地温梯度的差异还与岩石的热导率有关，同一热源情况下，热导率小的地区地温梯度较高。就整个地球而言，从地表向下约 70km 范围内，地热梯度平均为 2.5℃，再往下的地热梯度逐渐变小，约为 0.5～1.2℃，100km 深处温度不超过 1 300℃，再往深处，地温梯度更小，在 2 900km 深处的温度约为 2 850～4 400℃，地心温度一般认为不超过 5 000℃。

（二）地表热流和地热异常

地内热能以传导、辐射、对流方式由高温处向低温处传播，即由地内流向地表。单位时间内通过单位面积的热量称为热流单位（HFU），1HFU＝41.86mW/m^2。目前全球实测的地表热流平均值为 1.47±0.79HFU。从全球观测统计的 5 417 个热流数据来看，大陆和洋底的热流值几乎相等，大陆热流值平均为 1.46±0.64HFU，洋底为 1.46±0.78HFU。但在大陆或洋底内部不同地区热流值往往有较大差异。地球上的活动带，如大陆上的裂谷、年轻山脉、大洋中的洋中脊顶部，地表热流值可达 1.76～1.9HFU，而且洋底热流值有随着远离洋中脊而迅速递减的趋势。新生代火山活动带热流值更高，可达 2.16HFU。但地壳活动性差的地区一般都较低，仅为 0.9～1.28HFU。

热流较高的地区称为地热异常区，这些地区经开发可用地下热气、热水发电。地热能是最廉价的洁净能源之一，对它的开发利用具有重要的意义。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

七、放射性

地球内部散布有微量的放射性元素，它们主要集中在地壳，特别是酸性火成岩中。放射性是放射性元素在不稳定原子的分裂或衰变过程中，即不稳定的原子衰变为稳定原子过程中能量释放而显示的一种现象。在衰变过程中，不稳定原子核的部分能量一般是通过发射 α 或 β 粒子以及 γ 射线而释放出来。自然界中放射性较强的元素有铀、钍和镭等，此外还有某些元素的同位素具有放射性。放射性元素在蜕变过程中，可释放大量的热量，以铀为例，1g 铀蜕变产生的热量相当于燃烧 25t 煤所产生的热量；镭释放的热量比这还要大几百倍。因此，这些元素虽然数量少，但它们蜕变所产生的热能却是巨大的，据估计为 $(4.1868\times4.12\times10^{14})$ J/S，因而被认为是地热的主要来源之一。

虽然放射性元素在地球各处均有分布，但很不均匀，一般集中在地球的表层，而且在酸性火成岩中比在基性和超基性火成岩中的含量多得多（表 1－6）。在地球 0～20km 深度内的上层岩石中，放射性元素含量大致与花岗岩中的含量相当；在 20～60km 深处，放射性元素的含量大致与玄武岩中的含量相当；更深处的放射性元素含量可能与球粒陨石相当。

表 1－6　各类岩石放射性元素含量和热产率

岩石种类	放射性元素含量 (g/t)			热　产　率		总热量	密　度
	U	Th	K	4.188×10^{-8} J/(g·a)	4.186×10^{-14} J/(g·s)	1.186×10^{-5} J/(cm³·a)	g/cm³
沉积岩	3.00	5.0	20 000	373.0	11.8	1.74	2.3
花岗岩	4.75	18.5	37 900	818.0	25.8	0.35	2.7
玄武岩	0.60	2.7	8 400	120.5	3.8	0.01	3.0
橄榄岩	0.015	0.05	63	2.26	0.072	—	3.2
榴辉岩	0.048	0.18	360	8.1	0.26	0.009 5	3.2
球粒陨石	0.012	0.04	845	3.95	0.125	0.000 06～	3.6
铁陨石	0.000 1	?	?		0.000 02	0.000 000 6	
	≈0.000 001						

（转引自傅承义《地球十讲》，1976）

第四节　地质作用概述

地球这颗运行于浩瀚星空中的行星，在长达 45 亿多年漫长的演变中，由于主要来自太阳的外能和自身内能的驱动，一直在不断的变化和发展。我们今天看到的地球，只是其全部演变过程的一个阶段，而人类研究较多的地壳，也仅代表了地球演变的一个侧面。地球的物质组成、内部构造和外部形态时刻都在变化着，只是这种变化，有些进行得快，易于被人们觉察和观测，如地震和火山活动等；有些则进行得十分缓慢，不易被人们发现，如岩石的风化、地壳大范围的升降和水平运动等。这些由自然动力促使地球物质组成、内部构造和外部形态发生变化与发展的过程称为地质作用。其中，作用于整个地壳或岩石圈，能源主要来自地球本身的称内力地质作用；作用于地壳表层、能源主要来自地球以外的称外力地质作用。

一、内力地质作用

主要由地球旋转、重力、放射性元素蜕变、地热以及结晶相变、化学性质活泼的流体等在地球内部产生的动力，促使地壳或岩石圈的物质组成、内部构造及外部形态发生变化的过程称为内力地质作用。按作用的性质和方式，内力地质作用可分为构造运动、地震作用、岩浆作用和变质作用等。

（一）构造运动

由地球内动力引起地壳（或岩石圈）组成物质变形变位的机械运移过程称构造运动。构造运动控制着地表海陆分布的轮廓和地形，改变着岩石的原始产状，形成形式多样的地质构造及其组合。根据构造运动发生的时期，又将发生在晚第三纪末以来的构造运动称为新构造运动，其中人类历史时期至现代的新构造运动，还称为现代构造运动。

1. 构造运动的普遍性和长期性

地球形成以来，其组成物质的各质点和各部分都处于不断运动中。空间上，表现为局部区域的上升或下降、挤压或引张等；时间上，无论是古老的还是最新的岩石，都保存有构造运动的各种痕迹。如岩层变形变位形成的各种构造形态、第三纪以来地貌的形成和变迁等。

2. 构造运动的方向性

构造运动可分为升降运动（造陆运动）和水平运动（造山运动）两种基本形式。

1）升降（垂直）运动

升降运动是地壳或岩石圈组成物质沿地球半径方向的上升或下降运动。它主要造成地壳大规模的隆起和坳陷，引起地势高低变化及海陆变迁等。

世界上反映升降运动最著名的实例是意大利那不勒斯海湾波族奥里城北一座地狱神庙遗址前保存的三根高 12m 的大理石柱。石柱下部 3.6m 长柱段表面较光滑，其上 2.7m 长柱段被海生动物蛀蚀出无数的梨形小孔，上部 5.7m 柱面仍洁白无瑕，但不甚光滑（图 1—16）。

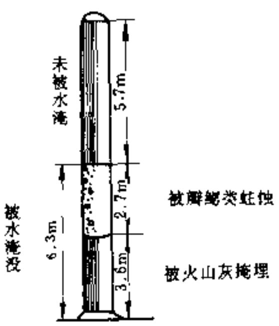


图 1—16 意大利波族奥里小城镇遗址中的大理石柱素描图
（据 T. M 巴拉德）

据考证，该庙在公元初期还位于陆上，1538 年维苏威火山喷发时被火山灰沉积掩埋了石柱下部的 3.6m；后因地壳下降运动使石柱沉至海面以下 6.3m；至 18 世纪中叶石柱又随地壳上升到地面；以后又开始下降，1878 年海水淹没柱高 0.65m，1913 年为 1.53m，1933 年为 2.05m，1954 年为 2.5m，至 1976 年达 3.5m，表明那不勒斯海湾近代正处于交替的升降运动中。这种依据人文及考古资料研究确定的升降运动实例很多，尤其是近海岸地带。如我国海南岛琼山县东寨港见到的水井及 1911 年清代的坟墓已被海水淹没。据统计，这里近 70a 来每年平均下降幅度为 1.5～2cm，而广州七星岗保留着完好的海蚀阶地（图 1—17）。

2）水平运动

水平运动是地壳或岩石圈物质沿地球切线方向的运动。它使地壳受到挤压、拉伸或平移，甚至旋转扭动，产生褶皱或断裂，在地表形成山脉或盆地。

现代水平运动的典型例子是美国加里福尼亚的圣安德列斯断层带。该处在 1882～1946

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

年的 65a 中作了四次定时测量、各三角点水平位移矢量如图 1－18 所示。由图可知，断层两盘主要向北西方向相对位移，并伴有一定的旋转、年平均移动速度约为 1cm。近几年，美国使用轨道卫星和激光束测定，发现该断层两盘每年正以 8.9cm 的速度靠拢。

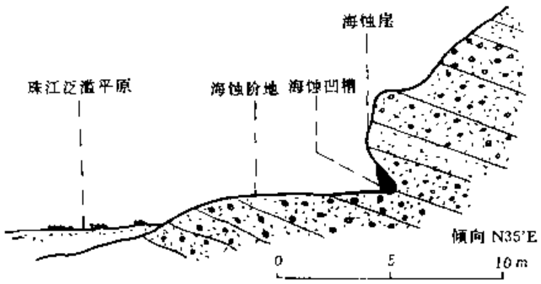


图 1－17　广州七星岗海蚀阶地

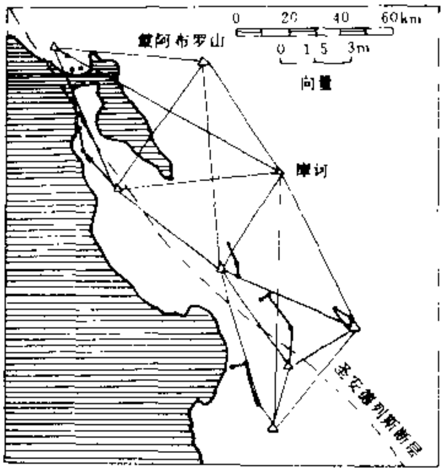


图 1－18　旧金山附近三角测量点的相对位移
（据 C. A. 怀滕，1948）

3. 构造运动的幅度

构造运动的幅度有大有小且相互交替，反映出构造运动速度快慢的相互交替。运动幅度与方向有关，如果在长时期内升降运动一直以上升或下降为主，或者水平运动总向某一主导方向运移，则幅度就大。如喜马拉雅山自开始抬升以来一直以上升运动为主，幅度已超过 1 万 m；印度大陆西侧近南北向的基尔塔尔平移断层，两侧反时针错移达 460km；据推测，我国郯城庐江大断裂两侧相对错移也在 150km 以上。

现代构造运动的方向和速度可通过定时、定点大地测量来测定。地史时期构造运动的方向、幅度和速度，主要靠成层岩石的岩相及古生物化石组合、构造形态及组合等来推断。如升降运动的幅度，主要依据沉积厚度推测，沉积厚度是地壳下降幅度的标志。在构造运动相对平静时期，一定沉积环境的沉积厚度有一极大值，如浅海沉积约为 200m，河流沉积应为洪水期主河道的深度。但在许多地区都发现岩相不变而沉积厚度大大超过沉积盆地深度的现象。如华北燕山震旦纪浅海相沉积厚度达万余米，表明该地当时地壳处于持续下降运动中。因此，如果地质剖面中一定时期的岩相基本稳定，沉积厚度可大致作为该时期地壳下降的幅度（图 1－19）。地壳上升幅度的确定较为困难，一般只能依据邻区的资料推定。如同一沉积区，若 A 地保存有某一时期厚 100m 的沉积岩层，而 B 地沉积岩层缺失，则可推定该时期 B 地相对上升了 100m 左右。当然，这种推测是十分粗略的。

4. 构造运动的阶段性和差异性

在地质历史中，构造运动通常表现为相对平静和剧烈时期的交替。在相对平静期，构造运动的速度和幅度均较小；而在相对剧烈期，运动的速度和幅度均较大，显示了构造运

动的周期性和地质历史发展的阶段性。因而，影响广泛的构造是划分地层界限的主要依据之一。

不同区域，构造运动的特点具很大的差异性。不能设想某次构造运动会同时波及全球。即使同一区域，不同地史时期的构造运动特点也是很不相同的。地史记录往往在时空上呈现为继承与发展、相似与差异的对立统一。

经过各国地质工作者的长期观察研究，认为在地史上地球曾发生过几次较强烈、影响范围较广泛的构造运动，且每次强烈运动的时期在各地是大致相当的。主要有加里东运动、海西运动、印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动等。

（二）地震作用

地震是构造运动的综合表现形式之一，它是岩石圈内积聚的能量骤然释放而引发的大地震颤。按其发生的原因可分为陷落地震、火山地震和构造地震三类。其中构造地震约占地震总数的 90%以上。世界上绝大多数地震，尤其是大地震都是构造运动引发的。构造地震具有活动频繁、影响范围广、破坏性大和延续时间较长等特点，是地震研究的主要对象。

1. 地震的有关术语

1）震源和震中

震源是地下深处能量积聚并发动地震的地方（图 1－20）。震中是震源在地表的垂直投影。它们都具有一定的空间范围，分别称为震源区和震中区。震中到震源的距离为震源深度；震中和震源到任一地震台（站）的距离分别称震中距和震源距离。

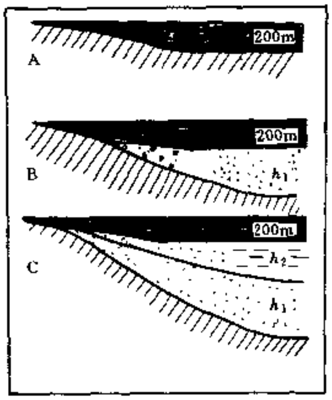


图 1－19 沉降幅度与沉积厚度关系示意图
A—浅海盆接受沉积；B—海盆保持浅海深度，地壳下降，沉积厚度为 h_1；C—海盆仍保持浅海深度，地壳继续下降，又沉积了 h_2，海盆沉积总厚度＝h_1+h_2（即地壳下降幅度）

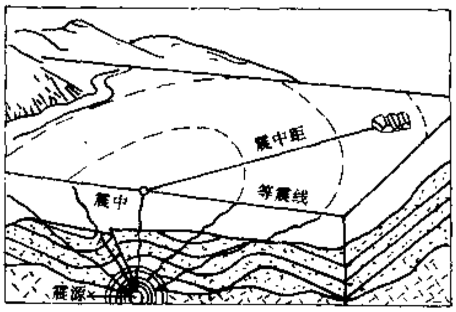


图 1－20 震源、震中，震中距示意图

按震源深度地震可分为浅源地震（0～70km）、中源地震（70～300km）和深源地震（>300km）。据统计，大多数地震为浅源地震，约占地震总数的 72.5%。破坏性大地震的震源深度多为 10～20km，如我国通海地震、唐山地震，震源深度均在 13km 左右。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2）地震波

地震时产生的波动称为地震波，它以弹性波的形式由震源向周围辐射传播。地震波可分为体波和面波两大类。在地球内部传播的称为体波；体波辐射到地表（或界面）时，激发出沿地面附近传播的波称为面波。

体波按传播方向与介质质点振动方向的关系分为纵波（P 波）和横波（S 波）。纵波的传播方向与介质质点振动方向一致，它使介质质点间发生更替的张弛和压缩。纵波的振幅小、周期短、传播速度较快，平均为 5～6km/s，为横波速度的 $\sqrt{3}$ 倍。横波的传播方向与介质质点振动方向垂直，它使介质质点间发生切变。横波的振幅较大、周期较长，传播速度平均为 3～4km/s。

根据纵波和横波到达地震台（站）的时差，可以测定地震的震中距和震源距离，还可依据 3 个以上地震台（站）的记录资料，确定震中位置和震源深度。

面波（L 波）亦可分为两种，一种是介质质点作垂直于地面的椭圆运动，形似水的波浪；另一种是介质质点在地面附近作垂直于传播方向的运动。面波的传播速度最慢，但其振幅最大、周期最长，因此是地震引起地表破坏的主要因素。

地震发生时，震中区地面的震动主要是上下的，震中区以远，纵波和横波分别以不同角度与地面接触，加之面波的作用，使地表的震动极为复杂。

3）震级和烈度

地震的震级和烈度是地震强度的两种表示方法。

震级是地震能量大小的量度。震源释放的能量越大，震级就越大。它是用地震仪记录的地震波测定的，一次地震只有一个震级。强烈地震释放出的弹性波能量是十分巨大的，如一次 8.5 级地震的能量是 3.6×10^{24}尔格，相当于 100 万 kW 的大型电厂 10a 发电量的总和；一枚氢弹爆炸所释放的能量为 4×10^{22}尔格，还不及一次 8 级地震所释放的能量。迄今，世界上纪录到的最大地震是 1960 年 5 月 22 日发生在智利海边的 8.9 级地震。需指出的是，震级与能量不是简单的比例关系，而是对数关系，震级相差一级，能量约差 32 倍。

我国根据地震震级大小将地震分为：小地震（$M<3$）、中等有感地震（$3\leqslant M<4.5$）、中强地震（$4.5<M<6$）、强烈地震（$6\leqslant M<7$）、大地震（$7\leqslant M<8$）、巨大地震（$M\geqslant8$）。

烈度是指地表及建筑物遭受地震影响和破坏的程度。一般而言，地震震级大、震源浅者烈度大；反之，烈度则小。而且同一次地震，震中区烈度最大，远离震中区烈度渐次减小。但由于影响地震烈度的除震级和震源深度外，还有震区地质构造、建筑物地基及其结构等多种因素，造成离震中区同样距离的地区烈度却有很大差异的景象。一般断裂发育或古河道通过的地带烈度大些，地基稳固的地带烈度小些。

我国现在采用的是 12 度烈度表，概略为：

3 度以下：通常人无感觉，只有地震仪能记录到；

3～5 度：人有不同程度的感觉，吊灯晃动，但无破坏；

6 度：器物倾倒，房屋有轻微破坏；

7～8 度：房屋严重破坏，人畜大量伤亡；

9～10 度：房屋大部倒塌，山崩地裂，灾害严重；

11～12 度：房屋普遍倒塌，山崩地滑，河川改观，灾害更重。

地震发生后，通过对震区的宏观调查，并在地形图上标明各居民点的地震烈度，然后

把烈度相同的点用圆滑曲线连起来，即为等震线图。等震线图通常呈不规则的封闭曲线（图 1—21），其长轴方向往往与震源断层走向一致。如唐山地震烈度图上，极震区等震线的长轴呈 N50°E，与该区发震断层的延伸方向是一致的。

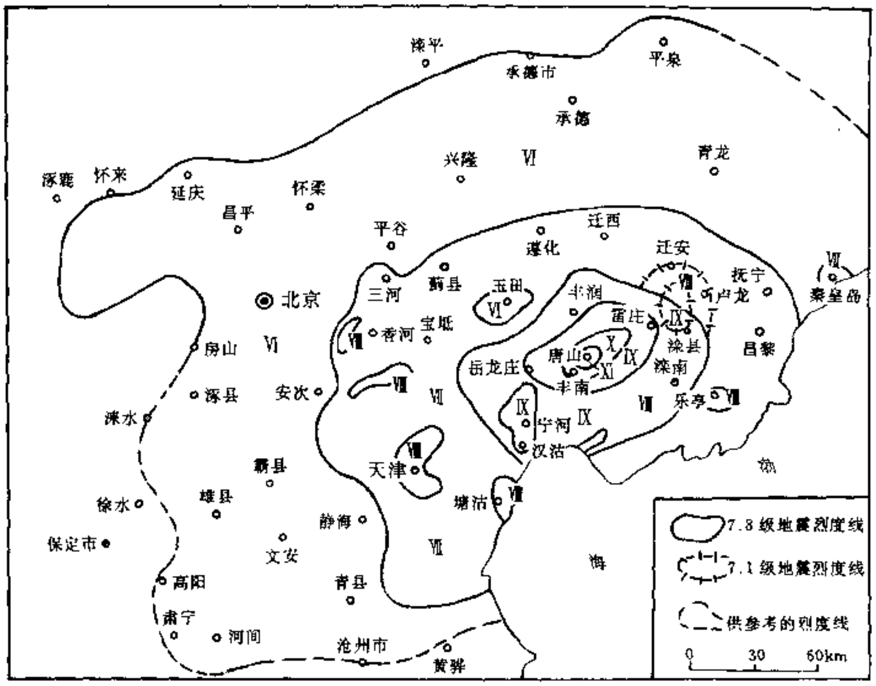


图 1—21　1976 年河北唐山地震烈度分布图

2. 地震地质作用

地震作用是地壳或岩石圈内地应力不断积累并超过岩石强度而断裂或使原有断裂重新活动的过程，它一般可分为孕震、临震、发震和余震四个阶段。

1）孕震阶段

这是地应力或应变能量的积累阶段，一般要历时几十年、几百年甚至更长。历时长短主要取决于震区构造运动的速度、地质构造特征和岩石强度等。

2）临震阶段

地震前在震区常会出现一些预示地震将要发生的前兆（异常），主要有：

（1）地应力及地形变异常　地应力变化异常并促使岩石弹性变形，表现为地形高低或水平位置的变化。如 1966 年我国邢台地震前两年，地面高程已开始发生变化。

（2）震情异常　由于震源区地壳物质成分、结构和地质构造的差异，使某些部位地应力相对集中，并率先发生一些微小错裂，释放部分应变能，形成主震前的一系列小震（前震），即为震情异常。如 1975 年我国海城地震的前震多且较规则。但也有前震很少甚至无前震的现象，如 1964 年阿拉斯加 8.5 级地震前，仅有一次可确定的前震；我国 1976 年唐山 7.8 级地震前则没有前震。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3) 地下水异常　由于震区的弹性变形及局部小错裂的发生，改变了地下水的赋存状态，出现水位、水质、清澈度和水化学组成（尤其是氡含量）等的变化。

此外还有波速、地磁、地电、气象和生物异常等。

3) 发震阶段

地应力积聚到超过岩石强度并足以克服各种阻力时，震源断层大规模错动，使地面强烈颤动，发生主震。主震往往仅历时几分钟甚至几十秒钟，但却是应变能的主要释放阶段。强烈地震释放出的巨大能量，常使震中区地面在瞬间发生许多宏观地质现象及灾害，主要有：建筑物破坏、地表出现深浅长短不一的地裂缝及岩层发生弯曲或水平方向的错移，还常诱发山崩、滑波和泥石流等。

4) 余震阶段

主震往往不能释放全部地震能量，便进入余震阶段。一般初期余震震级较大且频繁，随着剩余能量的逐渐释放，余震震级趋小、次数减少，直到剩余能量不能使岩石继续错裂为止。

总之，孕震阶段历时较长，表现为地震相对平静期；临震、发震和余震阶段历时较短，为地震活动期，呈现出地震活动的周期性。由于各地区域地质背景及特征的差异性，造成地震周期性的差异，只有结合大量历史地震资料，进行地震活动带地震地质综合分析，才能了解地震活动的规律。

3. 地震的地理分布

研究表明，地震的地理分布是有一定规律的。现代地震大多数都集中分布在四个带上（图 1—22），且多与新构造运动有关。

1) 世界地震带的分布

(1) 环太平洋地震带　从南美洲南端的麦哲伦海峡起沿南北美洲西岸，通过阿留申群岛，经日本、我国台湾、菲律宾到新西兰，主要是环太平洋的岛弧及海沟地带。这一带地震活动频繁而强烈，浅源、中源和深源地震均有，约占全球地震总数的 80%，释放的地震能量约占全球总能量的 80%。

(2) 地中海—印尼地震带　西起葡萄牙、西班牙和北非海岸，经地中海、高加索、喜马拉雅山至印度尼西亚与环太平洋地震带汇合，亦称欧亚地震带。这一带以浅源地震为主，有少量中源和深源地震，约占全球地震总数的 15%，释放的地震能量约占全球总能量的 15%。

(3) 大洋中脊地震带　主要沿大西洋、太平洋、印度洋和北冰洋岭脊分布。地震活动较微弱。

(4) 大陆裂谷系地震带　包括东非裂谷（地堑），红海、亚丁湾、死海裂谷系以及莱茵地堑等大断裂带。均为浅源地震。

2) 我国地震带的分布

我国的地理位置恰好处于欧亚和环太平洋两地震带的交汇区，是地震活动强度和频度均较高的国家之一。以构造地震为主，震中呈带状分布且与主要构造线一致。目前一般认为主要的地震带分布如下（图 1—23）：

(1) 东南沿海及台湾地震带　它属环太平洋地震带，以台湾的地震最频繁。

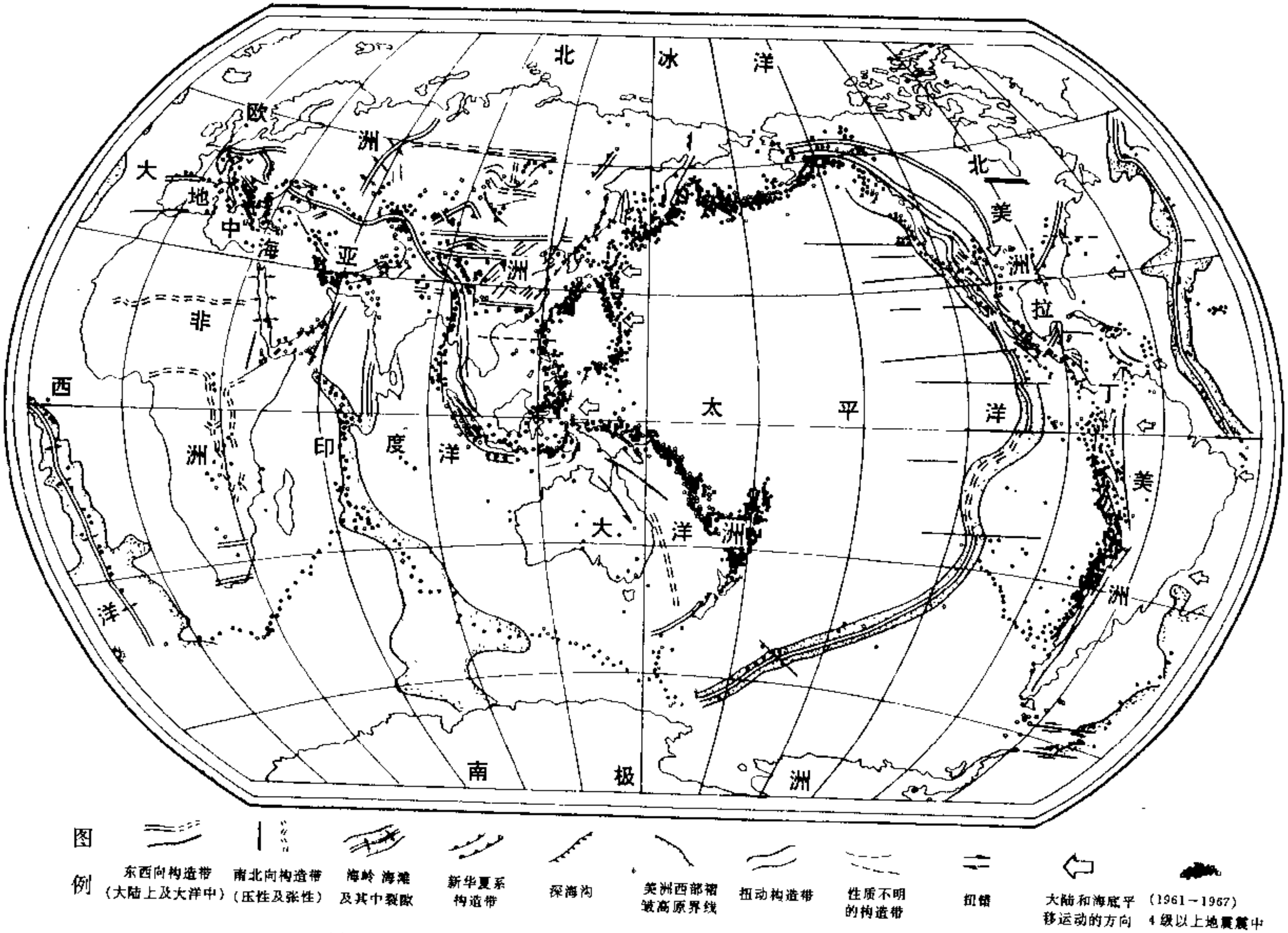


图 1—22 世界地震震中分布图（据成都地质学院《动力地质学原理》）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

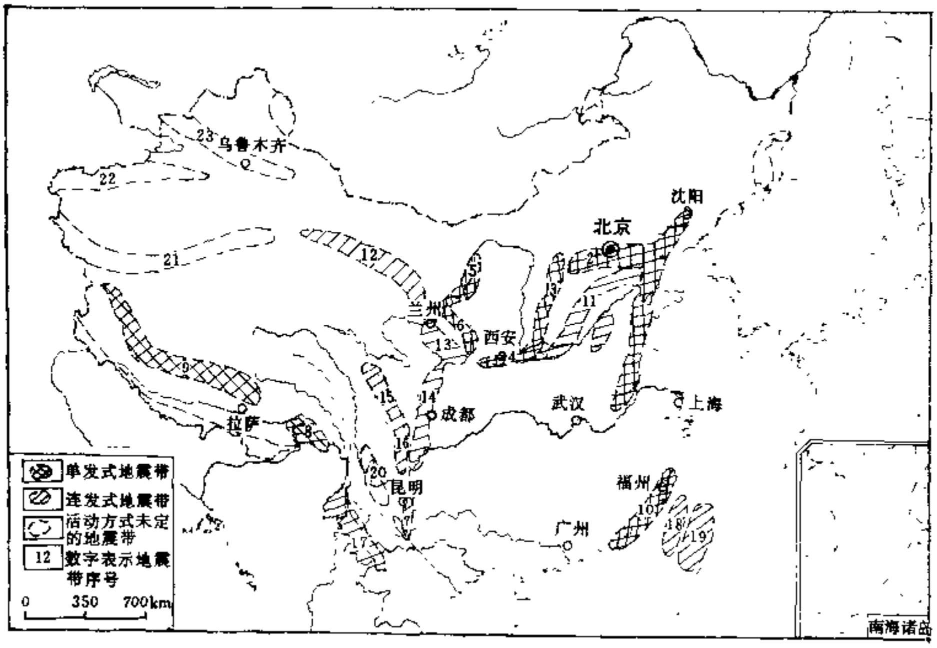


图 1—23 中国地震活动带的分布

单发式地震带

1. 郯城、庐江带 2. 燕山带 3. 山西带 4. 渭河平原带 5. 银川带

6. 六盘山带 7. 滇东带 8. 西藏察隅带 9. 西藏中部带 10. 东南沿海带

连发式地震带

11. 河北平原带 12. 河西走廊带 13. 天水—兰州带 14. 武都—马边带 15. 康定-甘孜带

16. 安宁河谷带 17. 腾冲—澜沧带 18. 台湾西部带 19. 台湾东部带

活动方式未定的地震带

20. 滇西带 21. 塔里木南缘带 22. 南天山带 23. 北天山带

(2) 郯城—庐江地震带 北起东北地区，经沈阳、营口达渤海，南过郯城、庐江抵黄梅地区。是我国东部的强地震带。

(3) 华北地震带 西起宝鸡、向东经汾渭河谷入山西，直到燕山西部。它是沿华北地区内部破裂带发育的强地震带。

(4) 南北向地震带 北起贺兰山、六盘山，横越秦岭，通过甘肃文县，沿岷江向南经四川盆地西缘达滇东地区。该带断裂活动频繁，为一规模巨大的强地震带。

(5) 西藏- 滇西地震带 它属欧亚地震带。

此外还有河西走廊、天山南北、塔里木盆地南缘和昆仑地震带等。

(三) 岩浆作用

岩浆是饱含挥发组分、过热水及蒸汽的硅酸盐熔融体。它在地壳深处或上地幔处于高温高压的相对平衡状态，具有极大的活动性。当局部温度或压力稍有变化，岩浆就向压力较小的地带运移，沿岩石裂缝或薄弱带上升，侵入岩石圈上部甚至喷出地表。岩浆在上升

运移中与围岩相互作用，不断地改变自身的化学成分和物理状态，最后在一定的温度、压力条件下冷凝固结成各种火成岩及相关的金属、非金属矿产。这种岩浆形成、活动直至冷凝成岩的过程称为岩浆作用。岩浆作用可分为喷出作用和侵入作用。

1. 喷出作用（火山作用）

1）喷出作用的概念

岩浆从火山口溢出或喷出地表的过程称为喷出作用或火山作用。

根据火山在人类历史时期是否活动过，将其分为活火山、死火山及休眠火山等。现代活动或在人类历史上曾记载过有岩浆喷出的火山统称为活火山；有火山喷出物堆积但在人类历史上未曾活动过的锥形火山称为死火山；死火山中，在近期又发生火山喷发的称为休眠火山。如我国新疆于阗县昆仑山北坡曾在第三纪喷发过的--死火山，1951 年 5 月又再次活动。

根据火山喷发时的剧烈程度分为猛烈式和宁静式喷发。猛烈式喷发常是富含 SiO_2 的酸性岩浆，因其粘性较大，气体不易自由逸散，逐渐在地下聚积，直到压力增大到足以冲破火山口的各种阻碍，便发生大规模的爆炸性喷出。喷出时地下雷鸣、地面颤动，形成火红的巨大烟柱。喷出物因流动性较差而在火山口附近冷凝堆积成很陡的新火山锥。宁静式喷发常是含 SiO_2 较低的基性岩浆，因其粘性小、流动性大，岩浆中气体较少且易于逸出而不发生大量积聚，故喷出时也不发生猛烈爆炸，而是从火山口静悄悄的溢出，形成坡度较缓的盾形火山锥。如夏威夷岛上的火山属此类。

根据火山喷发的形式可分为中心式、裂隙式及熔透式三种类型。现代火山除大陆裂谷和洋脊外，一般均为中心式喷发；而地质历史上更为常见的多为裂隙式喷发，岩浆沿窄长的地表裂缝溢出；至于熔透式喷发，一般推论在地球形成早期，地壳较薄，在岩浆热力影响下某些地段被熔透，形成喷出岩与侵人岩直接过渡的现象。

2）火山喷出的物质

火山喷出物呈气、固、液三态，其成分较为复杂。

(1) 火山气体　火山喷出的气态物质中水蒸气居多，约占 70%～90%，其次是二氧化碳 (CO_2)、二氧化硫 (SO_2)，还有微量的氮 (N_2)、氢 (H_2)、一氧化碳 (CO)、硫 (S)、氧 (O_2)、氯 (Cl_2) 等。它们因外部压力骤减而从岩浆中逸出，有的可在火山口附近直接凝结成升华物堆积，常见的有硫磺、钠盐、钾盐等。

(2) 熔岩　从火山口喷出的高温液态物质称为熔岩。因挥发组分大部分逸出，熔岩的气体含量比岩浆少。熔岩在沟谷中则呈长舌状，称为熔岩流；在平坦处则铺开成层，称为熔岩被。

(3) 火山碎屑　火山喷出的固态物质称为火山碎屑。其来源有二：一是火山通道中原先冷凝的熔岩和通道四周的围岩，经爆炸成碎块或粉末射入空中；二是喷射到空中的液态熔岩冷凝而成。这些在空中冷凝的火山碎屑，按大小可分为：大于鸡蛋的称火山块，小于鸡蛋而大于黄豆的称火山砾、火山豆，小于黄豆的细尘称火山灰；按形状分为：纺缍状、条带状或旋扭状的称火山弹（图 1—24），扁平状的称熔岩饼，发丝状的称火山毛。火山碎屑中粗重的上升不高降落到火山口附近，小而轻的可上升至平流层随大气环流或被风吹至数百公里之外沉降。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



图 1—21 火山弹

1，2—纺锤状（云南腾冲）；3，4—旋扭状（山西大同）

（据李尚宽）

2. 侵入作用

岩浆向上运移中，更为常见的是在地壳不同深度适宜的物理化学条件下逐渐冷凝结晶，形成不同形状、大小的侵入岩体，这一过程称为岩浆的侵入作用。有关侵入岩体的产状及岩石学特征将在第二章予以介绍。

（四）变质作用

1. 变质作用的概念

变质作用是指地壳中原有的岩石受物理和化学条件变化的影响，使其结构、构造和矿物成分等发生变化而形成一种新的岩石的过程。变质作用绝大多数与地壳演化过程中的地球内部的热流变化、构造应力或负荷压力等密切相关，少数是由陨石撞击地球表面所致。

变质作用发生在地壳表层以下的较高温度和一定压力环境中，使之有别于沉积岩形成过程的外力地质作用；它对原岩的改造基本上是在固态和升温过程中进行的，又有别于液态和降温过程的岩浆作用。

变质作用不仅改造了原岩，也改造了原有矿床，甚至形成新的矿床，所以，变质作用也是重要的成矿作用。大量金属和非金属矿产都与变质作用有关并赋存于变质岩中，如铁矿、磷矿、石墨矿、滑石矿等。

2. 变质作用的因素

引起原岩变质的主要因素是温度、压力及化学性质活泼的流体等。它们主要以重结晶、碎裂变形、交代、局部熔融等方式对原岩进行不同程度的改造。

1）温度

温度升高，能促使原有岩石发生重结晶作用。重结晶作用就是岩石在高温下，其内部质点活动能力增强，导致质点重新排列，使原来非晶质矿物结晶，晶体细小的矿物变成晶体粗大矿物的过程。如石灰岩变成大理岩，其中的方解石晶体显著变粗，就是重结晶作用的结果。

温度升高还可促使原岩的化学成分发生重新组合，生成新矿物。如粘土矿物在高温下可形成熔点较高的红柱石，其化学反应式为：

$$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \xrightarrow{加热} 2Al_2[SiO_4]O + 2SiO_2 + 4H_2O$$

（高岭石）　　　（红柱石）　　　（石英）

2）压力

促使变质作用的压力有静压力和定向压力。

静压力来自上覆岩层的重量，它随埋藏深度而增加。在静压力作用下，会使岩石体积变小而比重增大，还可形成一些体积较小，密度较大的新矿物。如斜长石和橄榄石在压力增大和一定温度下可形成石榴石，其化学反应式为：

$$Ca[Al_2Si_2O_8] + Mg_2[SiO_4] \longrightarrow CaMg_2Al_2[SiO_4]_3$$

	（钙长石）	（橄榄石）	（石榴石）
分子体积	101.1	43.9	121
比　重	2.7	3.2	3.4～4.3

定向压力主要是由构造运动或岩浆作用产生的。在地下深处的高温高压环境中，定向压力可使岩石发生强烈褶皱和柔性流动，还可使岩石中的柱状和片状矿物重新排列，从而形成变质岩特有的片理构造。

3）化学性质活泼的流体

化学性质活泼的流体主要是指岩石圈中的各种挥发性气体和水，它们大多来自岩浆分异和地下热水。当其渗入围岩中，在适当的温度和压力条件下，即可与围岩发生一系列的化学反应。如：

$$Na^+ + K[AlSi_3O_8] \longrightarrow Na[AlSi_3O_8] + K^+$$

（带入成分）（钾长石）　　（钠长石）　（带出成分）

该式表示了一种形式的交代作用。如此，使围岩的成分和结构均发生不同程度的变化。

3. 变质作用的类型

根据变质作用所处的地质环境、变质因素、方式及其产物特征，可将变质作用分为许多类型，这里择其主要类型介绍。

1）区域变质作用

广大区域内地下深处的岩石遭受构造运动和岩浆活动等的长期影响而发生的一种变质作用。它是高温、高压及化学性质活泼的流体等多种变质因素综合作用的结果。区域变质作用常出现在构造活动强烈的地带，其影响范围往往达几千或几万平方千米，具有很强的区域性。如我国山东泰山、山西五台山、河南嵩山及四川西部等地区，均有大面积经区域变质作用的变质岩出露。

2）接触变质作用

岩浆侵入时的高温和从中逸散的大量挥发性物质以重结晶及交代作用的方式致使其接触地带围岩发生变质的过程称为接触变质作用。接触变质作用的主导因素是温度和化学性质活泼的流体。围岩的变质程度和范围与侵入岩体的大小、形状、接触关系、岩性及与侵入体的距离等有关。如云南一大理岩矿区，靠近侵入岩体为粗晶大理岩，稍远为细晶大理岩，更远则仍为石灰岩。

3）气成热液变质作用

泛指由化学性质活泼的流体与围岩发生交代作用，使原岩的矿物成分、结构构造都发

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

生变化的一种变质作用。引起岩石变质的流体可以是岩浆晚期或期后的气化热液，也可以是地壳内的热水溶液。如超基性岩经热液蚀变后，其中的橄榄石、辉石可变成蛇纹石、同时伴生滑石及菱铁矿，这种蚀变作用亦称蛇纹石化。它往往与某些矿产密切相关，因此是重要的找矿标志。围岩热液变质的程度，除与气化热液性质有关外，还与围岩裂隙发育程度有关。

4）动力变质作用

动力变质作用是岩石在构造应力（定向压力）作用下发生碎裂变形及一定程度重结晶等的过程。动力变质作用可形成构造角砾岩、碎裂岩、糜棱岩等动力变质岩，亦称构造岩。构造岩常呈带状分布于断裂带两侧或断裂带内。

二、外力地质作用

大气、水和生物在太阳辐射能、重力能和日月引力等影响下产生的动力对地壳表层进行的各种作用，统称外力地质作用。按作用的方式及其产物，外力地质作用可分为风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩作用等。外力地质作用夷平地表，重塑地表形态，并引起地表物质的迁移、分散和富集。

（一）风化和剥蚀作用

1. 风化作用

风化作用是指岩石在地表条件下，由于温度变化，水或水溶液以及生物活动等影响而发生的机械破裂和化学分解作用。可分为物理风化、化学风化和生物风化三种类型。

1）物理风化作用

物理风化作用是指地表岩石在太阳辐射能影响下，发生冷热、干湿或冻融的长期交替变化而机械崩解碎裂的过程，又称机械风化作用。它使坚硬岩石变成碎屑但不改变其化学成分。

温度的剧烈变化使岩石及其矿物组分发生热胀冷缩是物理风化的重要原因之一。岩石是热的不良导体，而组成岩石的矿物膨胀系数又各异，故在太阳辐射引起的昼夜、季节温度变化影响下，岩石各部分体积伸缩不一，从而在其内部产生压应力和张应力。应力长期交替作用的结果，削弱了矿物颗粒间的连结并在岩石中产生网状裂隙，致使岩石由表及里层层剥落，直至完全破碎（图1—25)。在昼夜温差较大的内陆干旱地区，由温度变化引起的物理风化作用尤为显著。

另外，在降水量小于蒸发量的干旱、半干旱地区，近地表岩石裂隙中溶液所含盐分会逐渐增高。当含盐溶液达过饱和时，白天蒸发而盐结晶，结晶时体积增大并对裂隙两壁施加压力，使裂隙延伸或形成新裂隙；夜间气温降低，盐晶从大气中吸收水分变成含盐溶液，渗入裂隙，同时将沿途的盐分溶解，使溶液的盐分日益增加，再发生结晶。如此往复，使岩石中裂隙不断延伸和增多，直至发生机械破碎。

在寒冷地区，岩石裂隙和孔隙中的水常发生冻融交替。水结冰后体积增大约1/11、可对空隙壁产生96MPa左右的巨大压力。与上述盐结晶和溶解的情况相似，冻融交替也足以使岩石崩解破碎（图1—26)。

2）化学风化作用

化学风化作用是指岩石在O_2、CO_2和水溶液等作用下发生破坏的过程。它不仅使岩石及其矿物破碎，而且还使其矿物组成、化学成分发生改变。使在地表条件下不稳定的原生

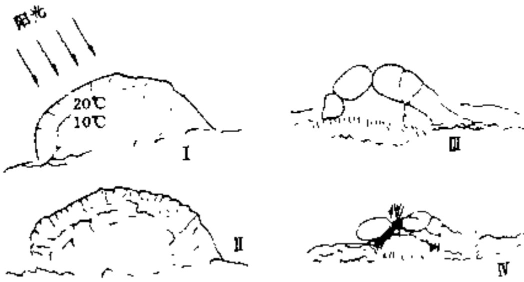


图 1-25　岩石因温度变化遭破坏的几个阶段



图 1-26　冰劈作用
（据 W. K. 汉布林）

矿物被溶解而流失或生成稳定的次生矿物。引起岩石化学风化的因素很多，主要有两种。

(1) 氧化作用　氧化作用是自然界的一种非常普遍的现象。它使岩石中的低价元素转变为高价元素，低价化合物转变为高价化合物。最易氧化的是各种硫化物，如含煤地层中常见的黄铁矿氧化后形成褐铁矿，反应式为：

$$4Fe[S_2]+15O_2+mH_2O \longrightarrow 2Fe_2O_3 \cdot nH_2O+8H_2SO_4$$

（黄铁矿）　　　　　　　　（褐铁矿）

黄铁矿氧化成褐铁矿，化学成分改变了，硬度、相对密度也相应变小，同时生成的硫酸对岩石具较强的腐蚀性，可使某些矿物分解形成洞穴和斑点，岩石变得疏松易碎。

(2) 水或水溶液作用　水是岩石风化过程中的重要影响因素。水或水溶液对岩石的破坏作用主要表现为水化、水解和水溶液作用等。

水化作用　组成岩石的某些矿物与水作用可吸收一定量的水而形成新的含水矿物称水化作用。如：

$$Ca[SO_4]+2H_2O \longrightarrow Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$$

（硬石膏）　　　　　　（石膏）

水解作用　天然水部分离群为 H^- 和 OH 离子，并与矿物中的离子之间进行化学反应。如：

$$4K[AlSi_3O_8]+6H_2O \longrightarrow 4KOH+Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8+8SiO_2$$

（正长石）　　　　　　　　（高岭石）

溶解作用　水是自然界分布最广泛的溶剂。有些岩石和矿物能直接溶于水，如石盐等。含 CO_2 的水对石灰岩有很强的溶解能力，常使其中的方解石变成溶于水的重碳酸钙而流失。反应式为：

$$Ca[CO_3]+CO_2+H_2O \longrightarrow Ca[HCO_3]_2$$

（方解石）　　　　（重碳酸钙）

3) 生物风化作用

生物风化作用是指生物的生命活动引起岩石及其矿物破坏、分解的作用，它可以是物理的，也可以是化学的。如生长在岩石裂隙中的植物，随其根系的生长、蔓延，造成岩石的劈裂，穴居的蚯蚓、鼠类等对岩石的破碎以及人类活动造成的岩石破坏等，均是常见的生物机械风化作用；而生物的新陈代谢和遗体腐烂后分泌的有机酸等，以及微生物活动对

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

岩石矿物造成的分解、腐蚀等，则是生物化学风化作用。

上述各种风化作用往往不是孤立进行的，而是相互联系相互影响的统一过程。物理风化使岩石破碎，为化学风化提供了便利条件；化学风化对岩石的分解、溶蚀降低了其抗破碎能力，加速了物理风化的进程。

2. 剥蚀作用

剥蚀作用是指地表水体、地下水、冰川和风等介质在运动状态下对地壳表层岩石进行破坏并将破坏产物搬走的过程。剥蚀作用按运动介质和方式可分为许多类型，其中主要有风、地表流水、海水、地下水的剥蚀作用和冰川的刨蚀作用等。

1）风的剥蚀作用

风吹起地表碎屑物并挟带它们磨蚀岩石表面的过程称为风的剥蚀作用。它具吹蚀和磨蚀两种方式。吹蚀作用在吹扬地表碎屑物或风化产物的同时对岩石也有剥离作用。磨蚀作用是指被风挟带的碎屑物在沿地表运动中对岩石表面产生碰撞和磨损。风的剥蚀作用强度与风力大小、挟砂量以及岩石性质有关；植被能有效阻止或减缓风的剥蚀作用。

2）地表流水的剥蚀作用

大气降水和冰雪融化后形成沿陆地表面流动的水流均称地表流水。它对岩石的剥蚀包括洗刷、冲刷和侵蚀作用等。

斜坡上面状无槽的暂时性流水称坡流或片流。坡流顺坡流向沟涧汇聚成奔腾的暂时性流水称洪流。无数坡流、洪流流到低洼沟谷中并伴有地下水补给形成水源充足的常年性流水，称为河流。

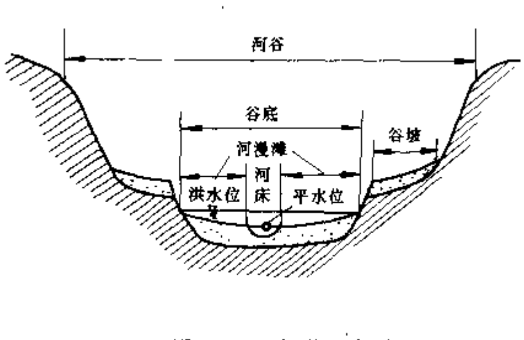


图 1—27　河谷要素图

坡流无固定水道，对地表的破坏主要表现为洗刷作用。洪流和河流都有固定水道，洪流主要表现为暂时性的冲刷作用，河流则以侵蚀作用为主。河流的侵蚀作用是持续不断的，是地表流水剥蚀作用的主要动力。

河流流经的槽状洼地称为河谷。河谷通常包括谷底、河床和谷坡三部分（图 1—27）。谷底是河谷底部较平坦部分；河床是河谷中经常有水流的部分；谷坡是河谷两侧的斜坡。

河流侵蚀作用主要是流水在河床中以三种方式、向两个方向进行的。

三种方式是：

A. 冲蚀　水流对河床的冲刷破坏作用。

B. 溶蚀　流水对河床岩石的溶解破坏，特别是可溶性岩石，溶蚀作用更为强烈。

C. 磨蚀　河流携带的泥砂、砾石对河床进行的磨擦破坏。同时，砂、砾本身也渐趋圆化。

两个方向是：河流在垂直方向上下蚀，使河床加深；在水平方向上侧蚀，使河床加宽。

A. 下蚀作用　河水及其携带的砂、砾撞击、磨擦河床基岩，使基岩破碎、河床加深的过程称为下蚀作用或垂直侵蚀作用。下蚀作用会引起河流逐渐向源头后退，河道加长，这

一过程称向源侵蚀。对于人海河流，当河面趋于海平面时，便不再具有位能，下蚀作用也就趋于停止。所以，海平面是人海河流下蚀作用的极限，称为侵蚀基准面，也是地表流水的最终侵蚀基准面。对于河流的某一河段，一般将主河床视为当地的最低侵蚀基准面。

山区河流下蚀作用强烈，河谷深而窄，横剖面上呈“V”字形，故称V字形河谷。在河床坡度大、岩石坚硬的河段常出现急流，急流的下蚀作用也较强烈，它在河流上游较多见。当河床的岩性变化时，下蚀作用在硬岩石和软岩石交接处差异侵蚀，形成河床高差悬殊，使河水在此处呈现明显的跌水，称为瀑布。显然，发生瀑布的河段下蚀作用更为强烈。

B. 侧蚀作用　河水在水平方向上侵蚀河岸，促使河床左右迁移或谷坡后退、加宽河谷的过程称为侧蚀作用。河水在惯性力作用下，水流质点总是沿直线推移。每到河床弯曲处，水便冲向凹岸，受阻后折向下游对岸另一凹岸处。流水逐渐掏空凹岸下部，使上部的谷坡岩块失重而下塌后退。如此，凹岸在河水的不断侵蚀下向外侧迁移，河谷加宽；同时，底流将破坏的碎块，泥砂搬至凸岸沉积，使凸岸更凸，凹岸更凹，河流弯曲不断加剧。洪水时水流切过曲流颈，河床被裁弯取直，原来的曲流脱离河道便形成了所谓的牛轭湖（图1—28）。

侧蚀作用使曲流带变宽形成宽广的平谷，同时河道加长、河床坡度变缓，流水动能减小。当河流动能全部消耗在搬运所挟带的泥砂和克服河床的阻力时，侧蚀作用就将告结束。

河流的下蚀和侧蚀作用常常同时存在于河流形成和发展的始终，只是在不同发展阶段或不同河段其作用强度不同。一般在河流发展初期或上游以下蚀作用为主，河流发展晚期或下游则以侧蚀作用占优势。当河流的河床坡度渐趋平缓并趋近最终侵蚀基准面时，侵蚀作用也将告终。

当地壳上升或侵蚀基准面下降时，河流侵蚀作用陡然加强，便在原河谷底上侵蚀出新的河谷，形成沿河谷谷坡延展的阶梯状地形，称河谷阶地（图1—29）。河谷阶地有的仅一级，有的可有多级。最低的称为一级阶地，往上为二级阶地，依此类推。一级阶地是最新的阶地，阶地愈高形成得愈早。

河流侵蚀作用不仅会形成侵蚀地形，还对流域内地表的岩石进行着强烈的破坏，形成

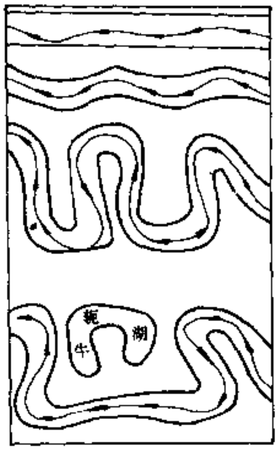


图1—28　曲流的发展与牛轭湖的形成

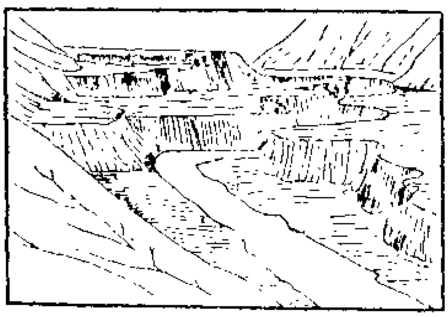


图1—29　河谷阶地示意图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

大量泥砂、砾石和溶解物质并被河水所携带，为新沉积岩的形成准备了丰富的物质。

3）海水的剥蚀作用

海水对海岸及海底岩石进行破坏的过程称为海水的剥蚀作用或海蚀作用。其剥蚀方式既有机械破坏，又有化学溶蚀及生物蚌蚀。海岸带海蚀作用最为显著。海浪、潮汐和海流是塑造海蚀地貌的主要动力。

海浪和潮流对海岸带的破坏主要表现为运动海水的冲刷和卷动的石块、泥砂对滨岸带的磨蚀。海浪冲蚀形成的岩洞称浪蚀岩洞。浪蚀岩洞不断扩大导致其上岩石失重崩塌，形成陡峭的崖壁称海蚀崖。海蚀崖在海蚀过程中不断向大陆后退，在海蚀崖与海面间形成一个海蚀平台。底流、岸流和退潮流把冲蚀破坏的岩块、泥砂带到海岸斜坡上堆积，海蚀平台不断扩大，海水能量随之趋小，直至全部耗于摩擦时，海水对海岸的侵蚀作用告终，此时海蚀崖就不再后退了。

若地壳上升使海蚀平台露出海面时便形成海蚀阶地；若地壳下降使海蚀平台沉为较深海时便改变了海岸地形，海蚀作用又在新的条件下继续进行。

海水除以动能对海岸带进行机械破坏外，对岩石海岸还有溶解作用。生活在海岸带的潜穴生物，亦可通过它们的壳刺或分泌某些溶剂侵入岩石，在岩石表面蛀蚀出许多洞穴，从而降低了岩石强度。溶蚀和蛀蚀均不同程度加速了海蚀作用对海岸带的破坏。

4）地下水的剥蚀作用

地下水是指埋藏在地面以下岩石和松散沉积物空隙中的水体。地下水的剥蚀作用主要可分为机械潜蚀和化学溶蚀作用。

地下水在缓慢流动中对其围岩的侵蚀破坏称为潜蚀作用。由于地下水的动能微弱，冲刷破坏能力很小，潜蚀作用不明显。当地下水充满松散沉积物时，颗粒间的连接力削弱，极易产生流沙现象；同时，地下水活动使可溶性物质流失、粘土物质膨胀，可塑性增强，在重力作用下常引发变形、塑性流动和滑坡现象，严重时造成自然灾害。

地下水对可溶性岩石进行以化学溶解和沉淀为主并伴有侵蚀和沉积，最终导致重力崩塌和堆积的过程称为喀斯特作用。

富含 CO_2 的地下水流经石灰岩、白云岩、大理岩等碳酸盐类可溶性岩石时发生溶解作用，溶解物流失并在岩石中留下一些空洞，空洞逐渐扩大甚至连通而形成地下暗河。若空洞上部岩块失重崩塌、陷落，便形成孤峰耸立、洞穴纵横的奇特地形。这种由喀斯特作用形成的特殊地形称为喀斯特地形，在中国一度改称“岩溶”。

5）冰蚀作用

冰川是由积雪形成并沿斜坡缓慢运移的巨大冰体。冰蚀作用是指冰川活动对组成冰床的岩石和地形进行磨蚀、掘蚀等破坏作用的过程，又称刨蚀作用。

冰川的重量对冰床有很大压力，而且冰体中冻结挟带着许多大小混杂的岩块、岩屑，它们象刨子和锉刀一样对途经的基岩进行推铿、碾磨和挖掘等破坏作用。刨蚀作用常在基岩上留下冰溜面、擦痕、刻痕等痕迹，在冰床地形起伏或岩石裂隙发育的地段，则可挖掘出洼地、削平山嘴。

风化和剥蚀作用都是外动力对地表及接近地表岩石的破坏作用。两者既有联系又有区别。风化作用主要使地表岩石变得松散，有利于剥蚀作用的进行；剥蚀作用则借助运动介质剥走松散的风化产物并对岩石进行动态破坏，使岩石新鲜面裸露，为进一步风化创造了

条件。两者的主要区别在于风化作用的产物残留原地，而剥蚀作用的产物随运动介质搬离原地。风化和剥蚀作用不断地以各种方式对地壳表层岩石进行着破坏，雕塑着地表景观，同时也为沉积岩提供了充足的物质来源。

（二）搬运作用

风化、剥蚀作用的产物，被流水、海洋、风、冰川等运动介质以机械或化学的方式转移到他处的过程称为搬运作用。搬运过程中被搬运物质也经受着不断的改造、分选或分异。

1、流水的搬运作用

流水的搬运作用以河流搬运最重要。河流搬运物质的方式有机械搬运和化学搬运两种。

1）机械搬运

河流对碎屑物质的搬运称为机械搬运。河流机械搬运的能力和方式，不仅取决于河流的流速、流量和性质，还与碎屑颗粒大小、形状、密度及相互间引力等有关。当水动力大于碎屑重力并克服了引力时，碎屑便被搬运。搬运方式分为浮运和底运。底运又可分为滚动、滑动及跳动等（图1—30）。

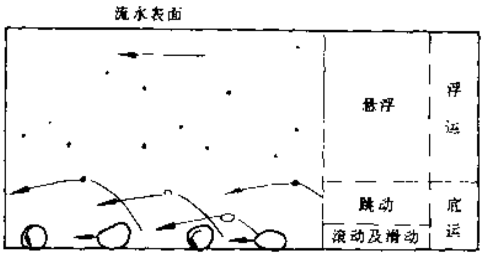


图1—30　流水机械搬运方式

搬运方式主要与碎屑本身有关，一般颗粒小、密度小、球度低的碎屑多呈悬浮搬运；而颗粒大、密度大、球度高的碎屑易呈跳动、滚动或滑动搬运。

碎屑在机械搬运过程中，由于颗粒间或颗粒与河床岩石间的相互碰撞和磨擦，使颗粒变小、棱角不断磨蚀而圆化、不稳定矿物也逐渐减少，故随着搬运距离的加长，碎屑趋于粒度细而均匀、磨圆度提高、矿物成分单一。

河流机械搬运能力是巨大的，据测算，全球河流每年搬运入海的泥砂总量约200亿t，并以浮运量为主。

河流的搬运能力除与流量、流速相关外，还与流经地域的自然和地质条件有关。在水土保持不好、岩土松散的地区，河流中的泥砂量就多；反之则少。我国黄河是世界上含泥砂量最高的河流之一，长江的泥砂含量也有逐年增高的趋势。

2）化学搬运

河流的化学搬运即流水对可溶性物质以溶液方式的运移。风化剥蚀产物中的易溶盐类如K、Na、Ca、Mg等元素的卤化物和硫酸盐多呈真溶液搬运，而难溶的Fe、Mn、Al、Si等元素的氧化物和氢氧化物则多呈胶体溶液搬运。

河流化学搬运的能力取决于河水的性质和流量，与流速无关。因在通常情况下，河水的溶解量远未饱和，所以不论流速发生多大变化也难以使其中的溶解物发生沉淀。

2. 海洋的搬运作用

运动的海水对其中及海底物质的搬运过程称为海洋的搬运作用。海洋搬运的物质大多来自入海河流，也有海水对海岸带侵蚀的产物。搬运方式与河流相似，以碎屑物质的机械搬运为主。搬运介质主要是海浪、潮汐和海流等。

海浪是风作用于海面而引起的波浪。海浪的搬运能力随海水加深而减弱。波浪作用极限约为水深200m，故海浪搬运作用的范围是近岸浅海区。潮汐的搬运作用主要发生在海岸

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

带。海浪和潮汐在海岸带对碎屑物的搬运均以往返搅动和淘洗为特征。当水流垂直于海岸时，较粗碎屑推向海岸线，而呈悬浮态的较细碎屑则被带向海洋，称为横向搬运；当水流斜向海岸时，将产生沿岸流，推动碎屑作沿岸的位移，称为纵向搬运。海流一般流速较慢，对海底的粗碎屑影响较小，常搬运细小淤泥和悬浮物质，但能进行远距离搬运，有时可达数千千米。

3. 地下水的搬运作用

地下水通常以化学搬运为主，只有地下暗河才具有一定的机械搬运能力。地下水的化学搬运能力很大，且很少受流速的影响，主要与流量及地下水的性质有关。溶液的成分和性质取决于地下水渗流区的岩石性质和风化程度。

4. 风的机械搬运

风的机械搬运也可分为浮运和底运。底运分为滚动、滑动和跳动等，并以跳动搬运为主。干旱的沙漠地区，风的搬运作用较盛行。风将地表的砂、尘土等风化剥蚀产物吹走，留下拳头或鸡蛋大小的石块，便形成戈壁滩；较粗砂粒常被搬至沙漠的边缘形成流动沙丘；更细的砂粒及尘土则常呈悬浮态被搬运到遥远的地方。

5. 冰川的机械搬运

冰川搬运的碎屑物，一部分是从山坡滚落到冰川上的，另一部分是冰川刨蚀的产物。它们混杂地冻结在冰体中被冰川载运。当冰川融化时，成分、大小各异的碎屑便杂乱无章地堆积下来。

（三）沉积作用

搬运过程中的物质，由于搬运介质能量减弱或物理化学条件的改变以及生物作用等因素的影响，在适当的环境停顿堆积的过程称为沉积作用。沉积作用按沉积地域可分为海洋沉积和陆地沉积；按沉积方式有机械沉积、化学沉积和生物化学沉积等。现分别简述几种常见的沉积作用。

1. 河流的沉积作用

河流搬运的各种物质由于河水流量、流速减小、搬运能力不足以克服被搬运物质的重力和摩擦力时。便在相应场所发生堆积的过程称为河流的沉积作用。因河流中以溶液方式搬运的物质远未达到饱和，往往被长距离搬运到湖泊或海洋中，故河流沉积作用以机械沉积为主。

山区河流携带大量碎屑物质流至山口外开阔地带时，由于坡度变缓、流速骤减而大量沉积。尤其是山洪暴发时，洪水往往溢出河床而在山前斜坡上漫流，常使大量的碎屑物呈扇形或半圆锥形堆积，称为洪积-冲积扇。我国著名的成都平原即是岷江上游和邻近几条小型河流的洪积—冲积扇联合而成的洪积—冲积平原。

在河床起伏、支流汇入或河流凸岸等河段，由于河水流速减小而发生碎屑物堆积。堆积物在河床中呈长轴平行于水流方向的菱形隆起，称为心滩；堆积于凸岸侧的称为边滩。它们在平水位时高出水而，洪水位时则大部分被淹没。长江南京段的八卦洲就是一典型的心滩。

洪水期被淹没、平水期又露出水而的河床两侧谷底平坦部分称为河漫滩。它是洪水漫岸时在谷底平坦地带形成漫流，使水流携带的细砂、粉砂和粘土物质逐渐沉积而形成的。

河流入湖、海地段称为河口区。河口区由于河床坡降平缓，水域扩大而使水流分散，加

之湖水或海水的顶托，流速减小而发生机械沉积，是重要沉积场所之一。同时，海水中电解质使河水中呈胶体状态的粘土、硅、铝、铁的氧化物发生沉淀。这些河口区的堆积物在平面上常形成顶端指向河流上游并向海或湖撒开的三角形，故称为三角洲。三角洲随沉积物的不断堆积向外海（或湖心）方向推进。

河流机械沉积过程中，随着河水流速减小和搬运能力减弱，沉积物的组成和分布是有一定规律的，一般颗粒粗大、比重大、浑圆状的先沉积；而颗粒细小、比重较小和片状的后沉积。这样，随着搬运距离的增加，沉积物的重矿物减少，稳定成分增多，矿物成分趋于简单，碎屑颗粒逐渐变小，磨圆度及分选性变好。

2. 海洋的沉积作用

海洋环境多样，沉积作用各具特点。海岸带波浪、潮汐作用强烈，海水动荡，溶解物质不易达到饱和，因此多以碎屑物质的机械沉积为主。海岸较平坦地带称为海滩，一般沉积了较粗大的砾石和砂，在双向水流的反复推移作用下，碎屑颗粒磨圆度变好、成分单一。由砾石组成的海滩称砾滩；砂组成的海滩称沙滩。与海岸平行的长条状砂粒堆积称沙坝；一端与海岸相连，另一端延伸入海的长条状砂粒堆积称沙嘴。它们都是机械沉积的产物。

水深 200m 以内的地带称为浅海区。浅海区是海洋中最主要的沉积地带。随着海水加深，水动力渐弱，由近海岸向远离海岸依次沉积粗砂、细砂、粉砂及粘土物质。

浅海区的化学沉积也十分普遍。以真溶液形式长途搬运来的 K、Na、Ca、Mg 的卤化物及硫酸盐、碳酸盐等常在这里达过饱和而发生沉淀。以胶体溶液形式搬运来的 Fe、Mn、Al、Si 的氧化物则在海水中因离子作用而凝聚沉淀，形成胶体状态的沉积物。

由于各种元素和化合物化学性质的差异及溶液性质、溶解度、温度、pH 值等因素的影响，化学沉积作用也存在着先后顺序和分异现象。一般溶解度最小的 Al、Fe、Mn、Si 等的氧化物首先沉积、然后是溶解度稍大的硅酸盐、碳酸盐，最后沉积的是溶解度最大的硫酸盐和卤化物。

3. 湖泊的沉积作用

湖泊是陆地上的积水洼地，也是重要的沉积场所之一。湖泊的沉积明显受气候条件的控制和影响。不同气候区湖泊沉积具有不同的方式和特点。

干旱气候区的湖泊，因降水量小，气候干燥而多属不泄水湖。由于蒸发量大于降水量，湖水长年蒸发使盐度不断增加。沉积方式以化学沉积为主，盐类沉积是不泄水湖泊沉积的典型特征。

潮湿气候区的湖泊多为泄水湖。由于有大量流水注入和湖水外泄，含盐量低，一般均为淡水湖泊。这里机械沉积作用较为显著。携带碎屑物的地面流水注入湖泊后，流速降低，碎屑便按颗粒粗细、密度大小而先后沉积，常呈现湖滨沉积物颗粒较粗，向湖心逐渐变细至粘土或泥灰质等沉积的环带状分布特点。

4. 生物沉积作用

海洋、湖泊、沼泽和地面流水等水体中的生物对沉积作用影响很大，尤其是古生代以来，这种影响更为明显。生物沉积作用包括生物遗体沉积和生物化学沉积两方面。生物遗体中含有硅、磷、碳酸钙的骨骼或介壳，沉积后可形成各种生物成因的岩石和矿产，如生物礁灰岩，磷块岩和一些硅质岩等。有些生物遗体在成岩过程中可转化成煤、油页岩、石油和天然气等。生物化学沉积作用是指由于生物的生命活动而引起周围介质条件的改变，从

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

而促使某些物质沉积的过程。如海生藻类的光合作用，可引起海水中CO_2含量的减少，促进了碳酸盐的沉积。

生物遗体分解后可产生大量H_2S、CH_4等气体，它们能改变沉积介质的氧化～还原条件，从而影响某些物质的溶解和沉淀；生物分解产生的腐植质，可保护胶体使之不易沉淀。另外，有机质与许多稀有、分散和放射性元素的富集、迁移有密切关系，如铀常与煤、黑色页岩等共生。

无论是机械的、化学的或生物的沉积作用都不是孤立进行的，所形成的沉积物很少是单一沉积作用的产物，而往往是在一定沉积环境和条件下以某种沉积作用为主并伴以其它沉积作用的综合结果。

（四）成岩作用

松散沉积物被覆盖与原介质隔绝逐渐固结成岩，直至遭受变质作用或风化作用之前的各种物理、化学、生物作用统称为沉积岩的成岩作用。成岩作用的主要方式有压固、胶结和重结晶等。

1. 压固作用

随着上覆沉积物加厚，压力不断增大，沉积物中的吸附水逐渐排出，孔隙减少，体积缩小，密度增加，颗粒间的联结力增强，这一过程称为压固作用。显然，压固作用的程度取决于沉积物的类型及其埋藏深度。粘土沉积物受压固作用影响最大，不仅体积和孔隙大大减小，而且还能引起矿物的定向排列，形成页理，因此压固作用是粘土沉积物成岩作用的主要方式。

压力增大，温度也会升高，将导致含水胶体和含水矿物产生脱水作用而形成新矿物。如蛋白石（$SiO_2 \cdot nH_2O$）变为玉髓（SiO_2）；褐铁矿（$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$）变为赤铁矿（Fe_2O_3）；石膏（Ca〔SO_4〕·$2H_2O$）变为硬石膏（Ca〔SO_4〕）等。同时，矿物失水还可引起沉积物体积的收缩和固实。

2. 胶结作用

充填在沉积物孔隙中的矿物质，将分散的颗粒连结起来而固结成坚硬岩石的过程称为胶结作用。常见的胶结物成分有硅质、钙质、铁质和泥质等。胶结物质可以是与碎屑同时沉积的，或是成岩过程中形成的新矿物，或是以后由地下水带来的。胶结作用是碎屑及生物碎屑沉积物成岩的主要方式。

3. 重结晶作用

随着沉积物埋藏深度的增加，在温度和压力影响下，矿物成分因溶解、局部溶解或固体扩散而使质点重新排列，致使非结晶物质结晶、细粒结晶变成粗粒结晶。一般真溶液和胶体溶液的物质颗粒细小、成分均一，易发生重结晶作用，其结果表现为晶粒加大。重结晶作用是大部分内源沉积岩和部分粘土岩固结成岩的主要方式。

在其它条件相似时，比重大、分子体积小的矿物重结晶能力较强，往往率先重结晶。因此，比重较大的矿物在沉积岩中常呈较大的晶体或结核出现，如黄铁矿、白铁矿、菱铁矿等。

第二章　矿物与岩石

固态地球的最外圈是地壳，地壳由岩石组成，岩石是矿物的集合体，矿物由化学元素结合而成。矿物与岩石是地质作用的产物，不同的地质作用形成了不同的矿物与岩石，地球发展演化过程中发生过的各种地质作用都在矿物与岩石中留下了许多信息。迄今为止，人类所获得的全部地质资料及据此得出的地质结论，基本上是建立在对矿物与岩石的观察与研究的基础之上，所以研究地质学首先要从元素、矿物及岩石入手。

第一节　矿物的概念及性质

一、地壳中的元素

元素是由同种原子组成的物质。目前已知的元素有 108 种，在地壳中存在的有 92 种。各种元素在地壳中的平均含量差别很大，元素在地壳中的平均含量称为该元素在地壳中的丰度，矿物的形成与元素的丰度关系极为密切。

美国化学家克拉克（F. W. Clark）等长期研究地壳中元素的分布规律，在四十余年间从世界各地采集 5 159 块有代表性的岩石样品进行化学分析，于 1924 年发表了地壳中 50 余种化学元素的平均质量百分数。为了纪念克拉克的功绩，人们把地壳中化学元素平均质量百分数称为“克拉克值”。继克拉克之后，许多学者对克拉克值作了进一步的研究、修改和补充。表 2—1 中列出了地壳中主要元素的克拉克值。

从表 2—1 可见，表中的 12 种元素约占地壳总质量的 99%以上。其中氧最多，其次是硅，二者约占 75%。因此，地壳中的矿物主要是由 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K 和 Mg 等元素结合形成的含氧盐和氧化物，其中以硅酸盐分布最广，是各类岩石的主要造岩矿物。

表 2-1　地壳中主要元素的克拉克值（%）

氧	O	46.60	钾	K	2.59
硅	Si	27.72	镁	Mg	2.09
铝	Al	8.13	钛	Ti	0.44
铁	Fe	5.00	氢	H	0.14
钙	Ca	3.63	磷	P	0.10
钠	Na	2.83	锰	Mn	0.09

（据 B. Mason，1966）

二、矿物的概念

矿物是天然产出，具有一定的化学成分和有序的原子排列，通常由无机作用所形成的均匀固体。如自然金（Au）、石盐（NaCl）、黄铁矿（Fe [S_2]）、方解石（Ca [CO_3]）、石

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

英（SiO_2）等。

某些人工合成的物体，如人造金刚石、人造水晶、人造红宝石等，其化学组成与物理性质虽然与自然矿物类似，但不是地质作用的产物，故称之为“人造矿物”或“合成矿物”，以区别于真正的矿物。

矿物的化学成分具有相对的稳定性，但是由于地质作用复杂多变，矿物的化学成分可以在一定范围内变化。例如闪锌矿（ZnS）中的Zn^{2+}，可以部分地被Fe^{2+}（不超过26%）所替代。矿物化学成分在一定范围内的变化将使矿物的晶胞参数略有变化，化学性质与物理性质也会有相应的变化，但是其基本性质即矿物的内部结构没有发生根本改变，所以化学成分上有少许差异的这些矿物仍属于同一矿种。在矿物学上称这种现象为类质同象，这些内部结构相同而化学成分有所差异的矿物称为类质同象混合物。

同种化学成分的物质，在不同的地质作用中因物理化学条件的差异可以形成完全不同的矿物。例如，碳（C）在地壳深部高温高压条件下形成金刚石，在温度压力较低的变质岩中形成石墨；氧化铝（Al_2O_3）和氧化硅（SiO_2）在不同的物理化学条件下结合分别形成红柱石、夕线石与蓝晶石。这些矿物虽然化学成分完全相同，但内部结构迥然不同。在矿物学上称这种现象为同质多象，这些结构不同的矿物称为该成分的同质多象变体。

三、晶体与非晶体

自然界产出的矿物都是晶体。石英是人类早已熟悉的一种晶体。晶洞中产出的石英，往往具有规则的几何多面体形态，人们称之为“水晶”，并因此而认为晶体必须有规则的外形，否则就不是晶体。实际上自然界也有许多石英呈不规则的形态。如果呈不规则形态的石英同样是晶体的话，那么晶体的实质究竟是什么呢？

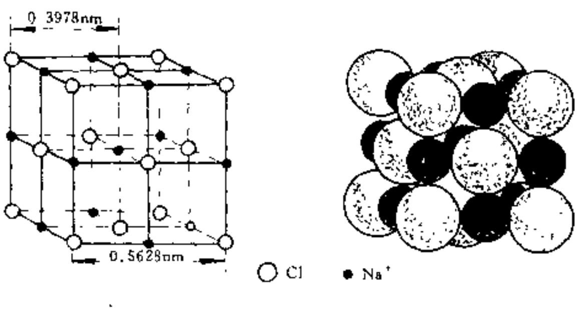


图 2—1　石盐的晶体结构

近代应用X射线分析法研究晶体，发现一切晶体不管其外形如何，其内部质点（原子、离子或分子）均作格子状规则排列，即在三度空间内作周期性重复，从而形成所谓格子结构。例如在石盐晶体中，Cl^-和Na^+规则排列，沿着立方体的三条棱边方向，各自都是每隔5.628Å的距离重复一次；而沿着对角线方向，各自都是隔3.978Å的距离重复一次，其它方向上的情况也都类似（图2—1）。虽然各种晶体的结构互不相同，但具有格子状结构则是一致的，可见内部具有格子状结构才是晶体的本质。由此可得出结论：晶体是内部质点在三维空间作规律性重复排列的固体，即晶体是内部具有格子状结构的固体。

与上述情况相反，凡是内部质点不作规则排列，即内部无格子状结构的固体，称为非晶质或非晶体。自然界某些产出状态和化学组成与矿物相似、但内部无格子状结构、属于非晶质的天然均匀固体被称为似矿物，如水铝英石等。似矿物也是矿物学的研究对象，往往并不把似矿物与矿物严格区分开来。

晶体与非晶体在一定的条件下可以互相转化。在相同的热力学条件下，晶体较之非晶

体内能小，性质稳定，因此非晶体必然具有自发地向内能小的结晶状态转化的趋势，最终成为稳定的晶体。例如，各个地质历史时期曾为玻璃质的岩石，迄今大多数已成为结晶质岩石，这种作用称为“脱玻化”；相反，某些含放射性元素的晶体，因放射性元素发生蜕变时释放出来的能量的影响，使晶体原有格子结构遭到破坏而转变为非晶体，这种作用称为“玻璃化”或“非晶质化”。

四、矿物的主要性质

不同的矿物具有不同的特征与性质，在地质工作中可以根据其不同的特征与性质来识别和鉴定矿物。

（一）*矿物的形态*

在相同的生长条件下，一定成分的同种矿物往往呈现相同的形态，这种性质称为矿物的结晶习性。自然界部分矿物是以单个晶体产出的，但多数矿物是以集合体形式出现。故矿物的形态可以分为两类：单体的形态与集合体形态。

1. 单体的形态

按晶体在三维空间发育的程度，单体的形态可以分为三种：

一向伸长的　晶体沿一个方向特别发育，其形态呈柱状、针状、纤维状。如柱状石英、针状金红石、纤维石膏等。

二向延展的　晶体沿二个方向特别发育，其形态呈板状、片状、鳞片状。如重晶石、云母、石墨等。

三向等长的　晶体沿三个方向发育程度大致相等，其形态呈等轴状或粒状。如石盐、黄铁矿、石榴石等。

2. 集合体的形态

矿物集合体形态千姿百态。对结晶质矿物而言，集合体形态取决于单体的形态、大小及其集合方式；对非晶质矿物而言，集合体形态取决于矿物的形成条件。常见的集合体形态有：

（1）柱状、针状、纤维状、放射状　由一向伸长的单体集合而成。柱状、针状、纤维状集合体中单体排列不规则，三种形态的区别在于单体直径大小不同（图 2－2*a*）。由一向伸长的单体围绕中心呈放射状排列称为放射状集合体（图 2－2*b*）。

（2）板状、片状、鳞片状　由二向延展的单体任意集合而成。单体呈板状者称板状集合体（图 2—2*c*）、单体呈片状者称片状集合体，单体呈鳞片状者称鳞片状集合体。

（3）粒状集合体　由三向等长的单体任意集合而成。按单体颗粒粒径（d）的大小，又可分为粗粒（d＞5mm）、中粒（d 5～1mm）、细粒（d＜1mm）集合体。

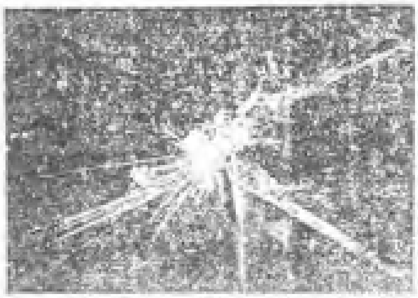
（4）晶簇　各个发育完好的单体，一端固着在共同的基底之上，另一端向空间自由生长（图 2—2*d*）。常见的有石英晶簇、方解石晶簇、辉锑矿晶簇、电气石晶簇等。

（5）其它形态　集合体除上述形态外，还有一些特殊的形态。常见的有：

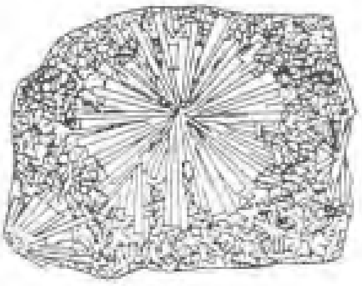
鲕状、豆状　由胶体溶液围绕某一核心逐渐沉淀形成的规则球体，具有明显的同心层状构造。其中直径小于 2mm、形状如鱼卵者称鲕状集合体（图 2－3*a*）；直径大于 2mm、形状如豆粒者称豆状集合体。

结核　不规则的球形、椭球形或瘤形的矿物集合体。大小变化很大，内部常具同心层状构造或放射状构造（图 2—3b），也有的成分均一、不显任何内部构造。其成因与鲕状、豆

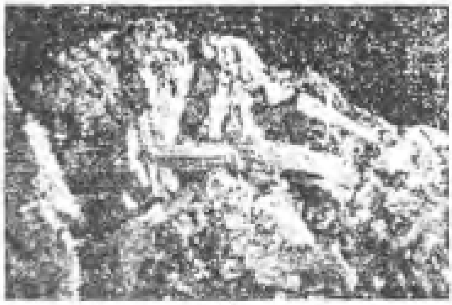
标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



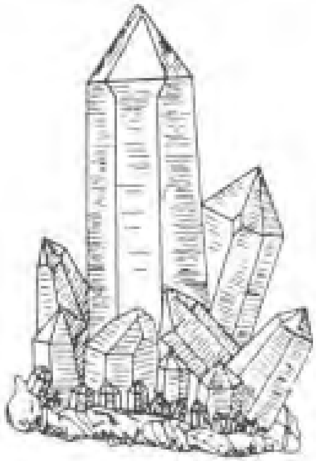
(a)



(b)



(c)

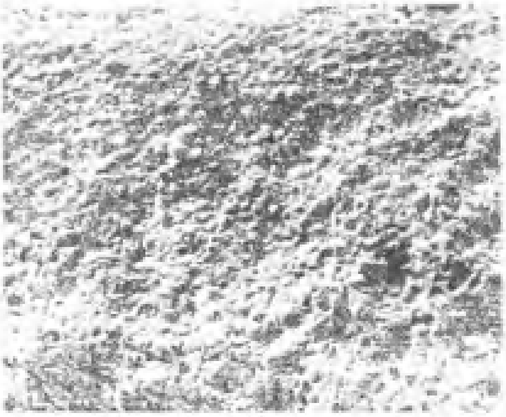


(d)

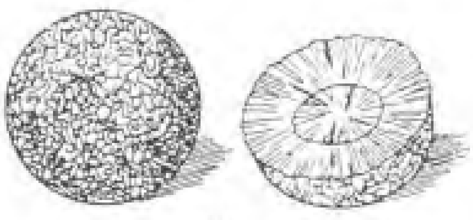
图 2—2 矿物集合体形态（之一）

(a) 辉锑矿针状集合体；(b) 红柱石的放射状集合体；

(c) 钼铅矿板状集合体；(d) 石英晶簇



(a)



(b)

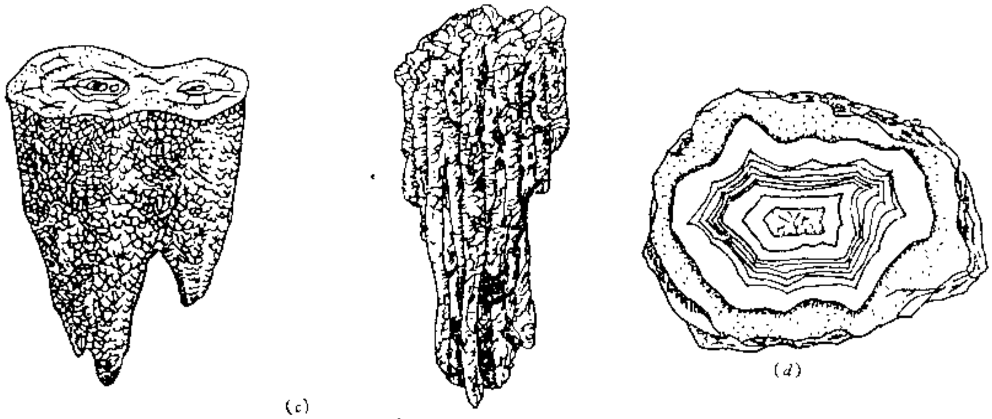


图 2—3　矿物集合体形态（之二）

（a）赤铁矿的鲕状集合体；（b）黄铁矿结核；

（c）钟乳状集合体；（d）玛瑙的晶腺

状集合体类似。

钟乳状　外形呈柱状或圆锥状，由真溶液或胶体溶液凝聚逐层堆积而成，内部常具同心层状、放射状、致密状、结晶粒状构造（图 2—3c）。石灰岩溶洞中的石钟乳、石笋、石柱等是最典型的钟乳状集合体。

分泌体　真溶液或胶体溶液从岩石的空洞洞壁开始向中心逐层渗透沉淀，逐渐形成球状或不规则状集合体。内部常有环带构造，有的中心留有空腔，有的空腔中生长有晶簇（图 2—3d）。

土状　矿物呈细粉末状聚集成块，内部均一而不显任何构造。

一定的矿物常呈某种特定的集合体形态，而某些矿物集合体形态还与一定的成因相关。所以矿物集合体形态既可以作为矿物的鉴定依据，也可以作为分析矿物成因的标志。

（二）矿物的光学性质

矿物的光学性质，是指矿物对自然光的吸收、反射、折射等所表现出的各种性质。主要有矿物的颜色、条痕、光泽、透明度等。

1. 颜色

矿物的颜色是矿物最直观的光学性质。许多矿物具有特定的颜色，是鉴定它们的重要标志。

矿物的颜色是矿物对可见光中不同波长的单色光波选择吸收的结果。所显现的颜色为被吸收色光的补色，如矿物吸收紫光，则呈现绿黄色；吸收蓝光，则呈现红色；吸收红光，则呈现蓝绿色。如果矿物对各种不同波长的单色光均匀吸收，则随着吸收程度的不同呈现白、灰、黑等色。

矿物的颜色可以分为自色、他色、假色三种。

自色　矿物自身固有的颜色，是由矿物的化学成分与内部结构所决定的。对同一种矿物而言，自色一般比较固定，例如黄铁矿的浅铜黄色、方铅矿的铅灰色、孔雀石的翠绿色，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

雌黄的黄色等，具有重要的鉴定意义。

他色　矿物内部的气液包裹体或带色的机械混入物而引起的一种颜色。他色与矿物的化学成分与内部结构无关，颜色随包裹体、混入物不同而异，往往是不固定的，一般无鉴定意义。但是对某些矿物而言他色相对比较固定，例如石英常因含大量气液包裹体而呈现乳白色，因此可以作为鉴定这些矿物的辅助依据。

假色　由于某种物理光学过程引起矿物呈色的现象，与矿物的化学成分与内部结构无关。例如在白云母、方解石等透明矿物的表面，因反射光的干涉作用呈现一种虹彩般的颜色称为晕色；黄铁矿、斑铜矿等不透明矿物的表面，因氧化形成的薄膜呈现斑驳陆离的色彩称为锖色。

描述矿物的颜色可以采用标准色谱法，即利用标准色谱中的红、橙、黄、绿、青、蓝、紫及白、灰、黑来描述矿物的颜色。当矿物的颜色与标准色谱有深浅、浓淡差别时，则在色别之前加以适当的形容词，如深红色、浅绿色、淡黄色、暗灰色等；当矿物的颜色呈现标准色谱中的过渡色时，则采用二名法描述，如橙黄色、黄绿色、灰白色等，后面的为主要颜色，前面为次要颜色。描述矿物的颜色还可以采用类比法，即选用生活中常用的实物作比喻，如铅灰色、铜黄色、肉红色、天蓝色等。

2．条痕

矿物的条痕是矿物粉末的颜色，即矿物在条痕板（白色无釉瓷板）上擦划后留下粉末的颜色。

矿物的条痕消除了假色，减弱了他色，因而比矿物颗粒的颜色更为稳定，因而更有鉴定意义。例如结晶质赤铁矿呈现铁黑至钢灰色，非晶质赤铁矿呈现暗红色，但它们的条痕都是樱红色；又如黄铜矿与黄铁矿颜色相近，但前者的条痕为带绿的黑色，后者的条痕为黑色。

条痕对鉴定不透明矿物至关重要。透明矿物的条痕一般为白、灰白色，因此条痕对透明矿物而言没有鉴定意义。

3．光泽

矿物的光泽指矿物表面反射可见光的能力。

矿物表面反射可见光由强到弱，其光泽可分为金属光泽、半金属光泽、金刚光泽、玻璃光泽等四类。

金属光泽　象抛光的金属面那样光亮，如自然金、黄铜矿的光泽。

半金属光泽　象未抛光的金属面那样光亮，如辰砂、磁铁矿的光泽。

金刚光泽　象金刚石晶面那样光亮，如金刚石、白钨矿、锡石的光泽。

玻璃光泽　象普通玻璃那样光亮，如石英、萤石、方解石的光泽。

当反射光受矿物表面平坦程度、集合体的集合方式等因素影响时，产生多次折射、散射，矿物表面将产生不同于上述四类的变异光泽。常见的有：油脂光泽、树脂光泽、丝绢光泽、土状光泽。

油脂光泽　某些具有玻璃或金刚光泽的浅色矿物，其断面上呈现油脂状的光泽。如石英、锡石等。

树脂光泽　某些具金刚光泽的浅色矿物，其表面呈现像松香一样的光泽。如雄黄、浅色闪锌矿等。

丝绢光泽　某些很细小且呈纤维状集合体的矿物，呈现象丝织品一样的光泽。如纤维石膏、石棉等。

土状光泽　某些粉末状或土状集合体的矿物，象泥土一样暗淡无光。如高岭石、褐铁矿等。

4. 透明度

矿物的透明度指矿物透过可见光波的程度。透明度取决于矿物对可见光的吸收率与矿物的厚薄。金属矿物吸收率高，一般都不透明；非金属矿物吸收率低，一般都透明。矿物越薄，透明度越高；反之亦然，例如极薄的金箔也能透过部分可见光波。

为了排除矿物厚度的影响，一般根据矿物在特别磨制的岩石薄片（厚度为 0.03mm）中或矿物破碎刃边的透明程度，将矿物大体分为透明矿物、半透明矿物和不透明矿物三种。

透明矿物　矿物可以透过绝大部分可见光波，隔着矿物的薄片或刃边可以清晰地看到位于另一侧的物体。如石英、方解石、萤石等。

半透明矿物　矿物可以透过部分可见光波，隔着矿物的薄片或刃边能够看到位于另一侧的物体，但轮廓分辨不清。如闪锌矿、雄黄、锡石等。

不透明矿物　矿物基本上不能透过可见波，隔着矿物的薄片或刃片根本无法看到另一侧的物体。如自然金、石墨、黄铁矿等。

矿物的颜色、条痕、光泽、透明度都是自然光作用于矿物时所表现的性质，它们之间有一定的规律性与内在关系（表 2—2）。

表 2—2　矿物的颜色、条痕、光泽与透明度的相互关系

颜色	无色或白色	浅色	深色	金属色
条痕	白色	浅色	深色	金属色
光泽	玻璃——金刚——半金属——金属			
透明度	透明——半透明——不透明			

（三）矿物的力学性质

矿物的力学性质是指矿物在外力作用之下所表现的性质。主要有硬度、解理、断口等。

1. 硬度

矿物的硬度是指矿物抵抗外力作用（如刻划、压入、研磨等）的机械强度。

确定矿物的硬度一般采用两种计量标准：摩氏硬度和维氏硬度。

摩氏硬度　亦称相对硬度。Friedrich Mohs 1882 年提出通过矿物的相互刻划、比较来确定矿物的相对硬度，并将 10 种标准硬度的矿物按硬度相对大小排列为 10 个等级，它们从 1 级到 10 级分别为：

①滑石；②石膏；③方解石；④萤石；⑤磷灰石；⑥正长石；⑦石英；⑧黄玉；⑨刚玉；⑩金刚石。

人们将以上 10 种标准硬度矿物称为摩氏硬度计。利用摩氏硬度计测定矿物的硬度十分简便，将欲测之矿物与摩氏硬度计中某一矿物相互刻划即可得知。例如某一矿物可以刻划正长石，又能被石英刻划，则此矿物的摩氏硬度在 6 与 7 之间。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

此外，指甲的硬度为2.5，小钢刀的硬度为5.5，所以在实际工作中可以利用指甲与小刀的硬度将矿物的相对硬度分为<2.5、≈2.5、2.5～5.5、≈5.5、>5.5等级别。

维氏硬度　亦称绝对硬度。它是压入硬度，是采用显微硬度仪测得的矿物硬度（显微硬度仪包括显微镜和一个金刚石锥体，在显微镜下观察矿物被金刚石锥体压入时留下的痕迹而测定其硬度）。

摩氏硬度计中10种矿物的维氏硬度是：

①滑石3；②石膏24；③方解石84；④萤石200；⑤磷灰石394；⑥正长石684；⑦石英1 090；⑧黄玉1 689；⑨刚玉2 401；⑩金刚石6 500。

由上可见，摩氏硬度只是表示矿物硬度相对大小，各级之间的硬度差异并非均等。

矿物的硬度是矿物内部结构牢固程度的表现，是矿物重要的物理常数和鉴定依据。

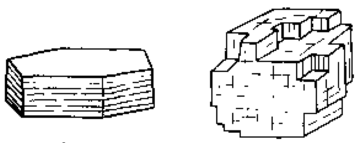
2. 解理

矿物的解理是指矿物在外力打击之下，总是沿一定方向裂开成光滑平面的性质。裂开的光滑平面称为解理面。对某一矿物而言，裂开的方向是固定的，可以是一个方向，也可以是几个方向。如为一个方向，称矿物有一组解理；如为二个方向，称矿物有二组解理…。

根据矿物解理产生的难易程度与解理面的光滑程度，可以把解理分为五级：

极完全解理　矿物在外力作用下极易裂成薄片，解理面光滑平坦（图2—4*a*）。如云母、石墨、石膏、辉钼矿等。

完全解理　矿物在外力作用下容易裂成平面（不成薄片），解理面平滑（图2—4*b*）。如方解石、萤石、方铅矿、闪锌矿等。



(*a*)　(*b*)

图2—4　矿物的解理

(*a*) 石墨的极完全解理；

(*b*) 方铅矿的完全解理

中等解理　矿物在外力作用下可以裂成平面，解理面不太平滑。如普通辉石、普通角闪石等。

不完全解理　矿物在外力作用下不易裂成平面，解理面不平坦。如磷灰石、锡石等。

极不完全解理　矿物在外力作用下极难裂成平面，实际无解理。如石英、石榴子石等。

只有结晶质矿物才有可能产生解理。矿物解理的组数与发育程度受晶体内部结构的控制，当晶体内部结构的某一个或某几个方向连结力较薄弱时，才会沿这些方向产生解理，因此解理可以作为矿物的鉴定标志。

3. 断口

矿物的断口指矿物在外力作用下在任意方向产生不平整断面的性质。断口无论在结晶质或非晶质矿物中都可能出现。具有良好解理的矿物受力时极易沿解理方向裂开，在解理面上难看到断口，所以断口与解理互为消长关系，即解理发育的矿物难于出现断口，易出现断口的矿物解理不发育。

矿物断口常见的形状有：

贝壳状断口　呈近椭圆形的曲面，曲面上有不规则的同心条纹，类似贝壳。例如石英、锡石的断口。

锯齿状断口　呈尖锐的锯齿状。如自然铜的断口。

参差状断口　呈参差不平状。多数矿物是此种断口，如黄铁矿、磷灰石的断口。

许多矿物断口的形状是固定的，所以断口可以作为鉴定矿物的辅助依据。

（四）矿物的其它性质

1．相对密度

矿物的相对密度是指纯净的单矿物在空气中的重量与4℃时同体积水的重量之比。

矿物的相对密度相差甚大，小的不到1，大的可达22以上，但多数矿物的相对密度在2～3.5之间。矿物的相对密度分为三级：

轻级　相对密度小于2.5。如自然硫（2.05～2.08）、石墨（2.09～2.23）、石盐（2.1～2.2）、石膏（2.3）。

中级　相对密度2.5～4。大多数矿物的相对密度在此范围之内。

重级　相对密度大于4。如重晶石（4.3～4.5）、钨锰铁矿（7.18～7.51）、方铅矿（7.4～7.6）、自然金（15.6～18.3）等。

矿物的相对密度与组成矿物元素的原子量大小和晶体结构紧密程度有关，是矿物的又一重要物理常数，对矿物鉴定有重要意义。

2．磁性

矿物的磁性是指矿物在外磁场作用下被吸引或排斥的性质。

一般将矿物的磁性分为三类：

强磁性　矿物可以被永久磁铁吸引。如磁铁矿、磁黄铁矿等，这些矿物称为磁性或铁磁性矿物。

弱磁性　矿物不受永久磁铁影响，但可以被强电磁铁吸引。如赤铁矿、钨锰铁矿、黑云母等，这些矿物称为电磁性矿物。

无磁性　矿物不受强电磁铁影响。如石英、方解石、萤石等，这些矿物称为无磁性矿物。

矿物的磁性主要与矿物成分中含有Fe、Co、Ni、Cr、Ti、V等元素有关，这些元素的原子或离子具有不成对电子，其自旋运动产生的磁场在外磁场作用下使矿物显示出磁性。矿物磁性的强度与矿物中上述元素含量的多少，特别是铁的含量多少有关。

磁性可以作为某些矿物的鉴定特征。

第二节　常　见　矿　物

一、矿物分类

自然界已知矿物有3000余种，并且不断有新的矿物发现，为了便于学习和研究，根据矿物的化学成分将所有矿物分为五个大类。

第一大类　自然元素矿物。如自然金、石墨等。

第二大类　硫化物及其类似化合物矿物。如方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿等。

第三大类　氧化物及氢氧化物矿物。如石英、赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿等。

第四大类　卤化物矿物。如石盐、萤石等。

第五大类　含氧盐矿物。如橄榄石、辉石、角闪石、云母、长石、方解石、石膏等。

各种矿物在自然界分布数量很不均衡。石英和含氧盐矿物（特别是其中的硅酸盐矿

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

物）分布最广、数量最多，它们往往是构成各类岩石的重要造岩矿物。

二、常见矿物特征

自然金　Au

完好的晶形少见，常为不规则粒状或树枝状集合体。颜色和条痕均为金黄色。强金属光泽。不透明。无解理。摩氏硬度 2.5～3。相对密度 15.6～18.3。强延展性。

石墨　C

完好的晶形少见，常为鳞片状、土状、块状集合体。颜色和条痕均为黑色，易污手。金属光泽。不透明。有一组极完全解理。摩氏硬度 1～2。相对密度 2.09～2.23。有滑感。

方铅矿　PbS

晶形常呈立方体（图 2—5），集合体常呈致密块状或粒状。颜色铅灰，条痕灰黑色。金属光泽。不透明。有三组完全解理，沿解理面易破裂成立方体。摩氏硬度 2.5。相对密度 7.5。

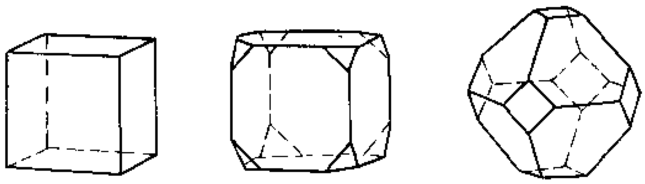


图 2—5　方铅矿的晶形

闪锌矿　ZnS

晶形常呈四面体（图 2—6），集合体常呈致密块状或粒状。颜色随含铁量增加由浅黄至棕黑，条痕由白色至褐色。解理完全。摩氏硬度 3.5～4.0。相对密度 3.9～4.2。

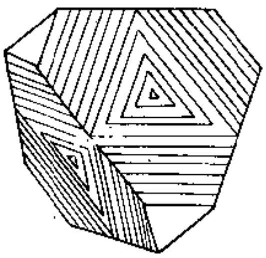


图 2—6　闪锌矿的晶形

黄铜矿　$CuFeS_2$

完好的晶形少见，常呈致密块状或分散粒状集合体。颜色铜黄色，表面常有蓝、紫褐、暗黄斑状锖色，条痕绿黑色。金属光泽。不透明。有不完全解理。摩氏硬度 3.5～4。相对密度 4.1～4.3。

黄铁矿　Fe〔S_2〕

晶形常呈立方体、五角十二面体（图 2—7），集合体常呈致密块状、浸染状和结核状。颜色浅铜黄色，表面常有黄褐色锖色，条痕黑色。金属光泽。不透明。无解理，断口参差状。摩氏硬度 6～6.5。相对密度 5.0。

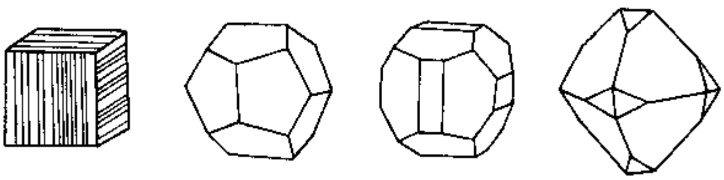


图 2—7　黄铁矿的晶形

石英　SiO_2

晶形常呈六方柱状，集合体常呈晶簇状、粒状、致密块状（图 2—8）。无色透明者称水晶，常因含杂质出现各种不同色调。晶面玻璃光泽、断口油脂光泽。无解理，断口贝壳状。磨氏硬度 7。相对密度 2.65。

隐晶质的石英称为石髓。常呈钟乳状、结核状、致密块状集合体。具有多色环状条带的石髓称为玛瑙，敲击时产生火花的黑色石髓称为燧石。

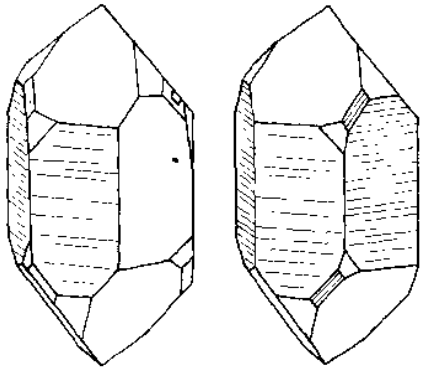


图 2—8　石英的晶形

赤铁矿　Fe_2O_3

完好晶形少见，常呈致密块状、片状、鲕状、豆状、肾状集合体。结晶质赤铁矿为铁黑至钢灰色，隐晶质赤铁矿为暗红色，条痕樱红色。半金属至土状光泽。不透明。无解理。摩硬度 5.5～6.5。相对密度 4.9～5.3。无磁性。

磁铁矿　$Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4$

晶形常呈八面体和菱形十二面体（图 2—9），集合体常呈粒状或致密块状。铁黑色，条痕黑色。半金属光泽。不透明。无解理。摩氏硬度 5.5～6。相对密度 5～5.2。具强磁性。

褐铁矿　$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$

并非一独立矿种，为多矿物的混合物，主要包括纤铁矿（FeOOH）、水纤铁矿（$FeOOH \cdot nH_2O$）、针铁矿（$HFeO_2$），水针铁矿（$HFeO_2 \cdot nH_2O$）以及一些杂质。常呈结核状、肾状、钟乳状、土状、疏松多孔状。褐至褐黄色，条痕黄褐色。摩氏硬度、相对密度变化较大。

萤石　CaF_2

晶形常呈立方体、八面体、菱形十二面体（图 2—10），集合体常呈粒状、块状。颜色多样，有无色、蓝色、绿色、紫色、黄色等。玻璃光泽。透明。有完全解理。摩氏硬度 4。相对密度 3.18。

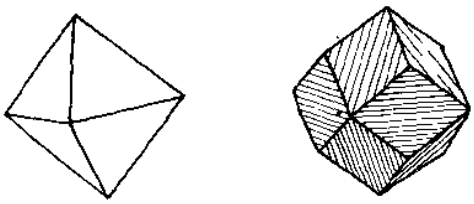


图 2—9　磁铁矿的晶形

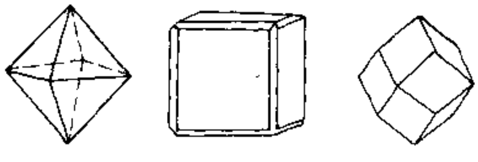


图 2—10　萤石的晶形

石盐　NaCl

晶形常呈立方体，集合体常呈粒状或块状。无色或白色，但常因含杂质呈现各种色调。玻璃光泽。透明。有三组完全解理。摩氏硬度 2～2.5。相对密度 2.1～2.2。易溶于水，有咸味。

橄榄石　$(Mg, Fe)_2[SiO_4]$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

完好晶形少见，常为粒状集合体。颜色随含铁量增加由淡黄绿色变为深绿色。玻璃光泽。透明。解理不完全，断口贝壳状。摩氏硬度 6～7。相对密度随铁含量的增加而增大，为 3.3～4.4。

石榴子石　$A_3B_2[SiO_4]_3$

化学式中的 A 代表二价阳离子 Mg^{2+}、Fe^{2+}、Mn^{2+}、Ca^{2+}等；B 代表三价阳离子 Al^{3+}、Fe^{3+}、Cr^{3+}等。晶形常呈等轴状，酷似石榴籽（图 2—11），集合体呈粒状、致密块状。颜色随成分而异，常见的为黄褐色、褐色、黑色。玻璃光泽，断口油脂光泽。无解理，断口贝壳状。摩氏硬度 6.5～7.5。相对密度 3.5～4.2。

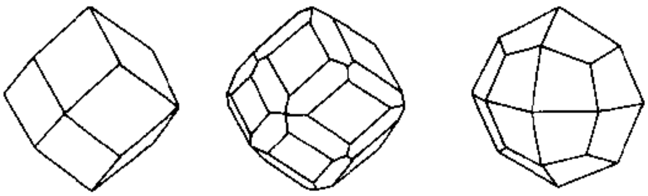


图 2—11　石榴子石的晶形

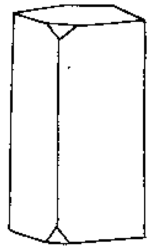


图 2—12　红柱石的晶形

红柱石　$Al_2[SiO_4]O$

晶形呈柱状（图 2—12），横断面近正方形（图 2—13），集合体常呈放射状，有“菊花石”之称。颜色为灰白、褐、肉红色。玻璃光泽。解理中等至不完全。摩氏硬度 6.5～7.5。相对密度 3.15～3.16。

蓝晶石　$Al_2[SiO_4]O$

与红柱石同属 Al_2SiO_5 的同质多象变体。晶形呈扁平长柱状（图 2—14）。蓝灰色。玻璃光泽，解理面上呈珍珠光泽。具完全和中等两组解理。摩氏硬度因方向而异，平行长柱方向摩氏硬度为 4.5，垂直长柱方向摩氏硬度为 6，有二硬石之称。相对密度 3.53～3.65。



图 2—13　红柱石的横断面

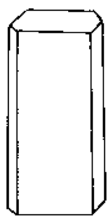


图 2—14　蓝晶石的晶形

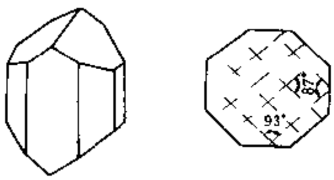


图 2—15　普通辉石的晶形及其断面

辉石　$R_2[Si_2O_6]$

化学式中的R代表Ca^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{2+}、Fe^{3+}、Al^{3+}、Na^+等。因阳离子不同包括若干种，如紫苏辉石、透辉石、普通辉石等。共同特征：晶形多呈短柱状，横断面为近正方形的八边形（图2—15）。随含铁量增加，颜色由绿、墨绿至褐黑色。玻璃光泽。沿柱面方向有两组中等解理，其交角87°。摩氏硬度5～7。相对密度3.2～3.6。

角闪石　$R_7[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$

化学式中的R代表Ca^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{2+}、Fe^{3+}、Al^{3+}、Na^+等。因阳离子不同包括若干种，如透闪石、阳起石、普通角闪石等。晶形多呈长柱状，集合体呈放射状、纤维状，横断面为近菱形的六边形（图2—16）。不含铁者白、灰白色，含铁者绿、绿黑色。玻璃光泽。沿柱面方向有两组完全解理，其交角56°。摩氏硬度5～6。相对密度3～3.5。

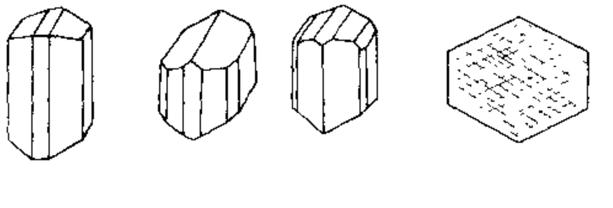


图2—16　普通角闪石的晶形及断面

白云母　$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$

晶形呈假六方短柱状或板状，集合体呈鳞片状。无色透明。玻璃光泽，解理面具珍珠光泽。有一组极完全解理，容易撕成薄片，薄片有弹性。摩氏硬度3～4。相对密度2.76～3.1。绝缘性能极好。

黑云母　$K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

晶形呈假六方板状或短柱状，集合体呈片状或鳞片状。常为黑色、深褐色，有时带浅红、绿色等。透明至不透明。玻璃光泽，解理面具珍珠光泽。有一组极完全解理，解理薄片具弹性。摩氏硬度2.5～3。相对密度2.8～3.2。

绿泥石　$(Mg,Fe,Al)_6[(Al,Si)_4O_{10}](OH)_8$

完好晶形少见，常呈鳞片状集合体。一般呈绿色，随含铁量增加颜色加深。玻璃光泽，解理面具珍珠光泽。一组极完全解理，解理薄片有挠性。摩氏硬度2～3，相对密度2.6～3.4。

高岭石　$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$

晶体极细小，在电子显微镜下呈六方形鳞片状，常为疏松鳞片状、致密细粒状、土状集合体。质纯者白色，常因含杂质而带各种色调。土状光泽。摩氏硬度2～2.5。相对密度2.60～2.63。干燥时有吸水性（粘舌），遇潮后有可塑性。其土状块体具粗糙感，易用手捏成粉末。

蒙脱石　$Na_x(H_2O)_4\{Al_2[Al_xSi_{4-x}O_{10}](OH)_2\}$

常呈隐晶质土状块体。白色、粉红、浅灰或其他浅色调。无光泽。摩氏硬度2～2.5。相对密度2～2.7。有滑感，吸水后体积急剧膨胀并成糊状。

海绿石　$K_{1-x}\{(Al,Fe)_2[Al_{1-x}Si_{3+x}O_{10}](OH)_2\}\cdot nH_2O$

晶体极少见，常呈数毫米的圆粒状侵染体，散布于某些沉积岩中。暗绿至绿黑色。无光泽。摩氏硬度2～3。相对密度2.2～2.8。

长石

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

分布最广的造岩矿物，约占地壳质量的50%。包括三个基本类型：

钾长石　K〔$AlSi_3O_8$〕

钠长石　Na〔$AlSi_3O_8$〕

钙长石　Ca〔$Al_2Si_2O_8$〕

钾长石中包括正长石、钾微斜长石、透长石等许多变种，其中最常见的是正长石。

钠长石与钙长石可以任何比例混溶，所形成的完全类质同象系列称为斜长石。

正长石晶形呈短柱状或板状（图2—17）。颜色常为肉红色、浅黄色。玻璃光泽。有两组相互垂直的完全解理。摩氏硬度6。相对密度2.5～2.6。

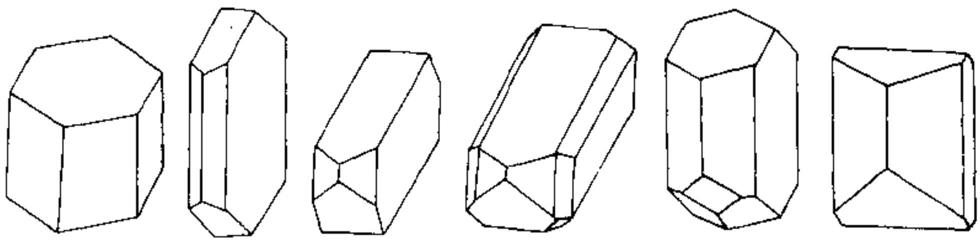


图2—17　正长石的晶形

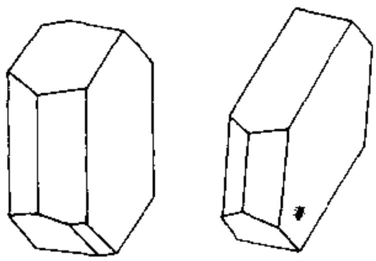


图2—18　斜长石的晶形

斜长石晶形呈板状或板条状（图2—18）。颜色常为白色、灰白色。玻璃光泽。有两组近于垂直的完全解理。摩氏硬度6～6.5。相对密度2.6～2.76，随钙长石含量增高而变大。

方解石　Ca〔CO_3〕

晶形完好的常见，但晶形复杂，有柱状、板状、菱面体等（图2—19）；集合体常呈晶簇状、粒状、致密块状、鲕状、钟乳状等。通常为白色，常因含杂质而呈现不同颜色，无色透明者称为冰洲石。玻璃光泽。有三组完全解理，易沿解理方向裂开成菱面体。摩氏硬度3。相对密度2.6～2.9。遇冷稀盐酸剧烈冒泡。

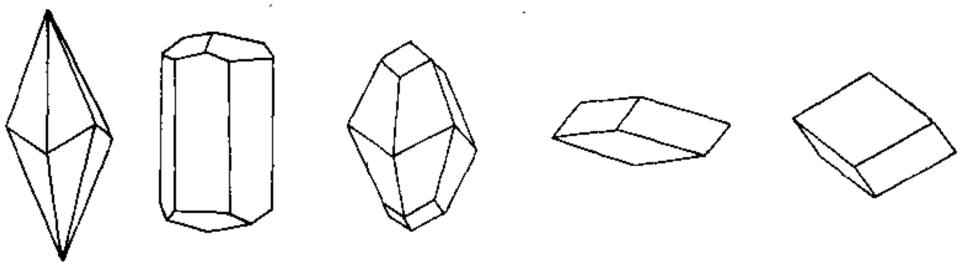


图2—19　方解石的晶形

白云石　$CaMg[CO_3]_2$

晶形为菱面体状，晶面常弯曲呈马鞍状（图 2—20）；集合体常呈粒状、致密块状。一般为白色，含铁者为灰色、褐色。玻璃光泽。有三组完全解理，解理面常弯曲。摩氏硬度 3.5～4。相对密度 2.85～3.2。遇冷稀盐酸反应微弱。

石膏　$Ca[SO_4]\cdot 2H_2O$

晶形常为板状（图 2—21），集合体常呈块状、粒状、纤维状。纯者无色透明，含杂质时呈灰、黄等色。玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽。有一组极完全解理，解理薄片有挠性。摩氏硬度 2。相对密度 3。闭管中加热可放出水分。

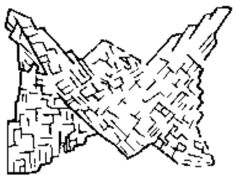


图 2—20　白云石的马鞍状晶体

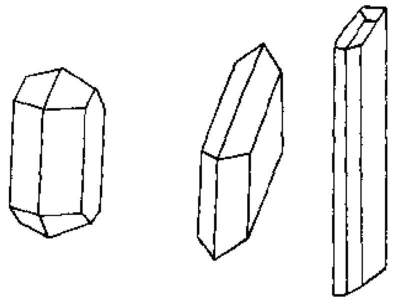


图 2—21　石膏的晶形

石膏中无色透明的称为透石膏；雪白色、半透明的细晶粒块状体称为雪花石膏；纤维状集合体称为纤维石膏。

硬石膏　$Ca[SO_4]$

完好晶形少见，常呈纤维状、粒状、块状集合体。纯者无色或白色，常因含杂质微带浅灰、浅蓝等色。玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽。解理好，沿三个相互垂直的解理方向可裂为长方体解理块。摩氏硬度 3～3.5。相对密度 2.98。易水解转变成石膏。

磷灰石　$Ca_5[PO_4]_3$ (F，Cl，OH)

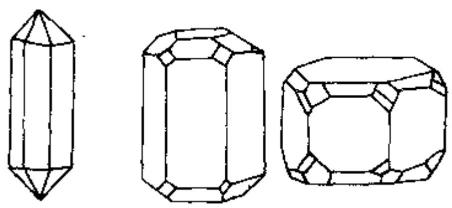


图 2—22　磷灰石的晶形

晶形常呈六方柱状（图 2—22），集合体呈粒状、块状、结核状。纯者无色透明，但常呈浅绿、黄绿、褐红、浅紫色。玻璃光泽，断口油脂光泽。解理不完全，断口参差状。摩氏硬度 5。相对密度 3.18～3.2。用含钼酸铵的硝酸溶液滴于磷灰石上，产生鲜黄色的磷钼酸铵沉淀。

第三节　岩石的概念及其分类

一、岩石的概念

岩石是构成地球的物质之一，地壳和上地幔的固态部分是由岩石组成的。

岩石具有以下特征：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1) 大多数岩石是矿物的天然集合体，由一种或数种造岩矿物按一定方式结合而成；有少数岩石由火山玻璃物质、胶体物质或生物遗骸组成。

(2) 岩石具有一定的结构、构造特征。

(3) 岩石是地球形成发展过程中地质作用的产物。每种岩石的化学成分、矿物成分、结构、构造、外形特征等均与地质作用密切相关，具有一定的地质意义。人工制造的工艺岩石非天然产出，所以不属于岩石的范畴。

综上所述，岩石的概念是：岩石是天然产出的矿物集合体，具有一定的结构、构造特征，是地质作用的产物。

岩石与矿产有密切的关系，各种金属、非金属矿产以及煤炭、石油等绝大多数蕴藏于岩石之中，与岩石具有成因与时空上的联系。同时，岩石也是构成各种地质构造和地貌的物质基础，与土木工程关系密切。此外，岩石记录了地球及宇宙天体形成演化的历史。因此研究岩石，不仅对于指导找矿勘探、土木工程设计等方面有重要的实际意义，而且在探索生命、天体的起源与发展等方面有重大的理论意义。

二、岩石的分类

自然界的岩石种类很多，已知有名称的岩石达一千多种，按其成因可分为三大类：

火成岩　主要由高温熔融的岩浆侵人地壳或喷出地表冷凝形成的岩石，亦称岩浆岩。

沉积岩　主要由母岩风化剥蚀的产物、火山碎屑物质、生物遗骸等经过搬运、沉积、固结形成的岩石。

变质岩　先已存在的火成岩、沉积岩或变质岩受物理和化学条件变化的影响改变其结构、构造和矿物成分而形成的新的岩石。

火成岩与变质岩多数由结晶矿物组成，故又统称为结晶岩。

地壳的表面以沉积岩为主，约占陆壳面积的75%，洋底几乎全部为沉积物覆盖。但是，地壳较深处和上地幔的上部主要由火成岩和变质岩组成。据统计火成岩占整个地壳体积的64.7%；变质岩占27.4%；沉积岩仅占7.9%。

尽管三大类岩石在成因和特征上有较严格的区分界限，但相互之间仍存在逐渐过渡的关系。例如在野外经常可以见到火成岩与变质岩、沉积岩与变质岩之间的渐变关系。同时，在地球发展演化过程中，由于地质作用的复杂性、多期性与漫长性，三大类岩石之间可以

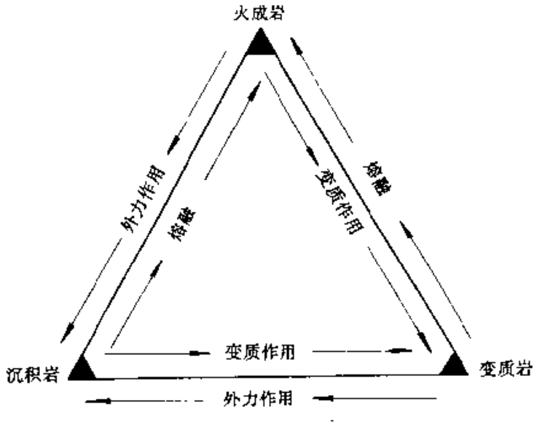


图 2—23　岩石的转化

相互演化变迁。

三大类岩石相互转化关系可用图 2—23 表示。

第四节 火　成　岩

一、火成岩的基本特征

（一）火成岩的化学成分

地壳中的各种元素几乎都能在火成岩中找到，其中含量最多的是 O、Si、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、Ti 等，其总量约占火成岩总重量的 98% 以上，因此称以上元素为火成岩的造岩元素。在造岩元素中，氧的含量最高，占火成岩总重量的 46% 以上，因此火成岩的化学成分常用氧化物的百分比来表示。火成岩的平均化学成分见表 2—3。

表 2—3　火成岩的平均化学成分

氧化物	重量百分数			元素	重量百分数	
	世界火成岩总平均值*	诺科尔兹 (1954)	黎彤等 (1963)		尼格里 (1938)	费尔斯曼 (1939)
SiO_2	57.03	61.67	63.03	O	46.60	49.13
TiO_2	1.05	0.67	0.90	Si	27.70	26.00
Al_2O_3	15.02	14.87	14.62	Al	8.13	7.45
Fe_2O_3	2.90	2.13	2.30	Fe	5.00	4.20
FeO	4.63	4.07	3.72	Ca	3.63	3.25
MnO	0.14	0.10	0.12	Na	2.83	2.40
MgO	5.06	3.47	2.93	K	2.59	2.35
CaO	6.13	5.17	4.04	Mg	2.09	2.35
Na_2O	3.50	3.47	3.61	H	0.13	1.00
K_2O	2.45	2.83	3.10	Ti	0.44	0.61
H_2O	1.25	0.67	0.92	C	0.03	0.35
P_2O_5	0.26	0.26	0.31	N		0.04
CO_2	0.15			P	0.08	0.12
总计	99.74	99.68	99.60	总计	99.25	99.25

* 据武汉地院《岩浆岩岩石学》附录三，1980。

从表 2—3 中看出，火成岩主要由 SiO_2、Al_2O_3、F_2O_3、FeO、MgO、CaO、Na_2O、K_2O 和 H_2O 等 9 种氧化物组成，约占火成岩总质量的 98% 以上。火成岩中各种氧化物之间关系密切，随着 SiO_2 含量的增减，其它氧化物含量将出现规律性变化（图 2—24）：

（1）随着 SiO_2 含量增加，FeO 和 MgO 逐渐减少，Na_2O 和 K_2O 逐渐增加。

（2）SiO_2 含量低于 45% 时，CaO 和 Al_2O_3 含量很低；SiO_2 含量在 45%～50% 区间，CaO 和 Al_2O_3 出现峰值，而后随着 SiO_2 含量的增加 CaO 和 Al_2O_3 又逐渐降低。

（二）火成岩的矿物成分

组成火成岩的常见矿物有长石、石英、云母、角闪石、辉石、橄榄石、霞石、白榴石、磁铁矿、磷灰石等十余种，约占火成岩总质量的 99%，因此称这些矿物为火成岩的造岩矿物。在造岩矿物中，长石占 60% 以上，其次是石英，所以长石、石英在火成岩的分类和鉴

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

别中具有重要意义。

根据造岩矿物在火成岩中的含量及其在分类命名中所起的作用，可以将其分为三类。

主要矿物　火成岩中含量较多的矿物，一般含量都在10%以上。它们是划分火成岩大类的依据，是确定岩石名称不可缺少的。例如花岗岩类中的主要矿物是石英和钾长石，没有它们或它们的含量甚少则不属于花岗岩类。

次要矿物　火成岩中含量较少的矿物，一般含量都在10%以下。它们对划分火成岩大类不起作用，但是可以作为确定岩石种属的依据。例如角闪花岗岩和黑云母花岗岩中的角闪石、黑云母是次要矿物，它们是划分花岗岩类种属的依据。

副矿物　火成岩中含量最少的矿物，一般含量不到1%，偶而可达5%。它们在火成岩分类命名中不起作用，但它们在研究火成岩的含矿性、生成条件、形成年代等方面有一定的意义。常见的副矿物有铬铁矿、磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、锆石、榍石等。

主要矿物、次要矿物、副矿物随岩石种类而异，即某一种火成岩中的主要矿物在另一种火成岩中很可能是次要矿物，甚至是副矿物。

根据造岩矿物的化学成分特点，还可以将其分为二类：

铁镁质矿物　为富含铁镁组分的硅酸盐矿物，包括橄榄石类、辉石类、角闪石类、黑云母类等。这些矿物颜色较深，通常呈黑、暗绿色，故又称暗色矿物。

硅铝质矿物　为富含硅铝组分、不含铁镁组分的硅酸盐矿物，包括石英类、长石类及副长石类。这些矿物颜色较浅，故又称浅色矿物。

铁镁质矿物与硅铝质矿物的含量随岩石种类而异。由于铁镁质矿物颜色较深，所以将火成岩中铁镁质矿物的百分含量称为色率。色率是肉眼鉴定火成岩的重要指标，一般而言，色率越高，火成岩中铁镁质矿物含量越高，岩石富铁镁而贫硅铝组分；反之色率越低，火成岩中硅铝质矿物含量越高，岩石富硅铝而贫铁镁组分。

（三）火成岩的矿物共生组合规律及其与化学成分的关系

火成岩的矿物是有规律地共生组合的。其共生组合规律首先决定于火成岩的化学成分，同时还与火成岩形成的温度、压力等因素有关系。

岩浆中SiO_2的含量对火成岩矿物共生组合影响最大。当SiO_2含量很高时，SiO_2除与各种金属氧化物结合形成硅酸盐矿物外，多余的SiO_2游离出来结晶成石英，所以石英是岩石SiO_2过饱和的指示矿物，含有石英的岩石一般就是SiO_2过饱和的岩石。当SiO_2含量不足时，将出现镁橄榄石、霞石和白榴石等，所以镁橄榄石、霞石、白榴石是岩石SiO_2不饱和的指示矿物，含有这些矿物的岩石一般就是SiO_2不饱和的岩石。显然，火成岩中镁橄榄石、霞石、白榴石一般不会与石英共生，因为它们在一起时将通过化学反应转变为其它新的硅酸盐矿物。当SiO_2含量充足时，将出现辉石、角闪石和长石等，所以辉石、角闪石和长石是岩石SiO_2饱和的指示矿物，含有这些矿物而不含石英、也不含镁橄榄石、霞石、白榴石的岩石称为SiO_2饱和的岩石。

根据图2—24和图2—25，火成岩中矿物共生组合规律与化学成分的关系可概述如下：

（1）橄榄岩和辉岩类　$SiO_2<45\%$。富含MgO和FeO，贫Na_2O和K_2O。铁镁质矿物含量>90%，主要是橄榄石、辉石、长石含量很少或无。

（2）辉长岩类　SiO_2 45%～52%。随着SiO_2含量增多，MgO、FeO含量明显减少，CaO、Al_2O_3含量急剧增多。出现辉石与含钙长石分子较高的斜长石共生，且二者含量相近。

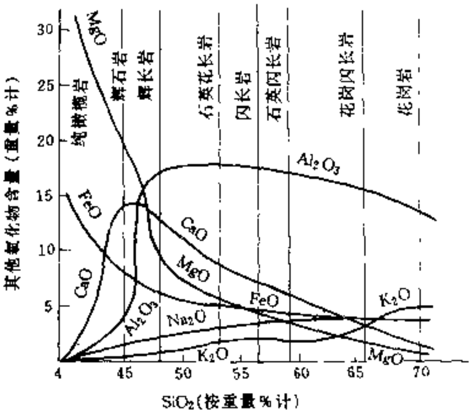


图 2－24　火成岩中 SiO_2 与其它主要氧化物之间变化规律

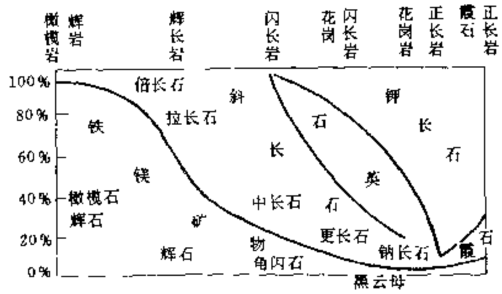


图 2－25　各类侵入岩的矿物成分组合的变化规律

（据卢奇斯基）

(3) 闪长岩类　$SiO_2$52%～66%。随着 SiO_2 含量进一步增多，Na_2O、K_2O 也相应增多，而 MgO、FeO、CaO 减少。出现普通角闪石和中性斜长石共生，铁镁质矿物含量降至 30% 左右。

(4) 花岗岩类　SiO_2>66%。SiO_2 含量最多，Na_2O、K_2O 含量也最多，MgO、FeO、CaO 大大减少。出现石英、钾长石、酸性斜长石、黑云母共生，铁镁质矿物含量降至 10%左右。

（四）火成岩的组构

组构泛指岩石的各个组分以及组分之间的边界在空间上的相互排列方式，它是火成岩形成条件的反映。国内一般将组构分为结构和构造两个方面。

1. 结构

主要指岩石的组成部分自身的特点（结晶程度、颗粒大小、晶体形态、自形程度）及其相互间的关系。火成岩的结构主要决定于岩石形成时的物理化学条件，诸如岩浆的温度、压力、挥发组分、粘度、冷却速度等因素。岩浆在冷却的过程中，由于矿物熔点不同，晶出有一定顺序，先结晶的矿物自形程度高，后结晶的矿物自形程度低。岩浆侵入地壳深处，岩浆冷却速度缓慢，压力大，挥发组分不易逸散，所以矿物结晶速度缓慢，生长时间长，颗粒比较粗大；反之岩浆喷出地表，岩浆冷却速度快、压力骤然下降，挥发组分大量逸散，所以矿物来不及结晶或没有结晶，颗粒比较细小，还有的成为玻璃质。

火成岩的结构主要有以下几种：

(1) 显晶质结构　矿物颗粒较粗，凭肉眼或借助放大镜能分辨出矿物颗粒。根据主要矿物颗粒的平均直径大小，可以进一步分为伟晶结构（d>10mm）、粗粒结构（d 10～5mm）、中粒结构（d 5～2mm）、细粒结构（d 2～0.2mm）、微粒结构（d<0.2mm）。

(2) 隐晶质结构　矿物颗粒很细，不能用肉眼或放大镜分辨出矿物颗粒。岩石外貌致密，有蜡状光泽，具瓷状断口。

(3) 玻璃质结构　岩石全部由天然玻璃质组成。有玻璃光泽，具贝壳状断口。玻璃质

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

不稳定，随着时间推移，会逐渐转变为结晶物质。所以在时代较新的喷出岩或部分超浅成侵入岩中才有可能出现玻璃质结构。

(4) 等粒结构和不等粒结构　等粒结构指岩石中同种主要矿物颗粒大小相近（图 2—26*A*）；不等粒结构指岩石中同种主要矿物颗粒大小不等（图 2—26*C*）。前者多见于侵入岩中，后者多见于侵入岩体边部或浅成侵入岩中。

(5) 斑状结构和似斑状结构　岩石的组成部分大小相差悬殊，分成截然不同的两组，大的称斑晶，小的称基质。如果基质为隐晶质或玻璃质，则为斑状结构（图 2—26*D*）；如果基质为显晶质，则为似斑状结构（图 2—26*B*）。斑状结构中的斑晶与基质生成时间不同，斑晶形成较早，是岩浆在地下深处或上升过程中先析出的；基质则是岩浆侵入地壳浅部或喷出地表后快速冷却的产物。似斑状结构中的斑晶与基质几乎同时形成。

(6) 自形晶结构、半自形晶结构和他形晶结构　自形晶结构的特点是矿物晶粒具有完整的晶面（图 2—27*A*），它们是在有足够的时间和空间的条件下生成的。他形晶结构的特点是矿物晶粒无一完整的晶面（图 2—27*C*），它们是在无自由生长的空间形成的。半自形晶结构的特点介于二者之间（图 2—27*B*）。

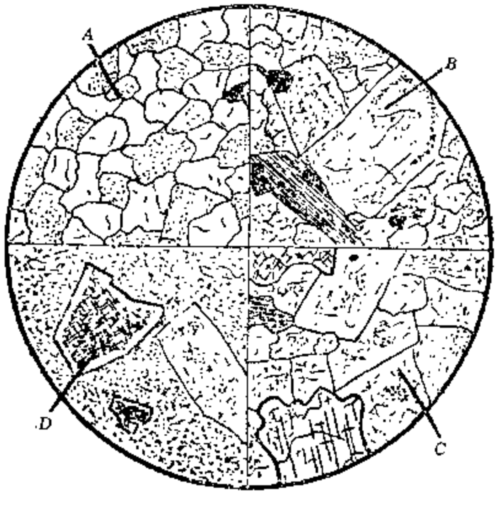


图 2—26　按矿物颗粒相对大小划分的结构

A—等粒结构；*B*—似斑状结构；*C*—不等粒结构；*D*—斑状结构

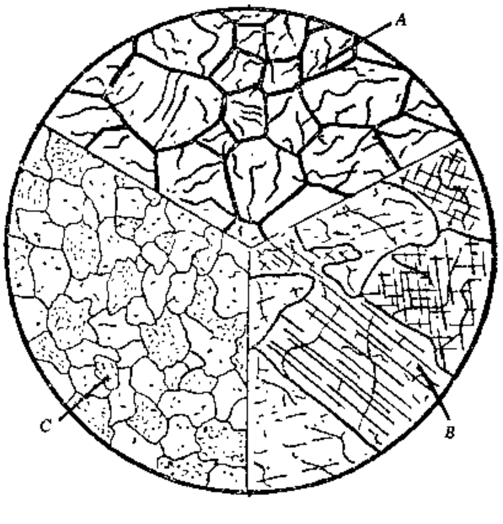


图 2—27　矿物颗粒外形完整程度

A—自形晶；*B*—半自形晶；*C*—他形晶

2. 构造

主要指岩石的组成部分在空间的分布、排列、充填的方式。火成岩的构造除与岩浆自身特点有关外，还受岩石形成时的地质因素（构造运动、岩浆的流动等）影响。

火成岩的构造主要有以下几种：

(1) 块状构造　是一种均匀构造。岩石的各组成部分均匀无向分布。这是火成岩最常见的一种构造。

(2) 斑杂构造　是一种不均匀构造。岩石的不同部位在结构上和矿物成分上有明显差

异。这是由岩浆分异作用或同化混染作用造成的。

(3) 气孔构造和杏仁构造　岩石中有大量空洞，称为气孔构造（图2—28)。是岩浆溢出地表时，其挥发组分从岩浆中逸散形成大量气泡而留下的空洞。如果孔洞被岩浆期后形成的矿物如石英、方解石等充填，则称为杏仁构造。

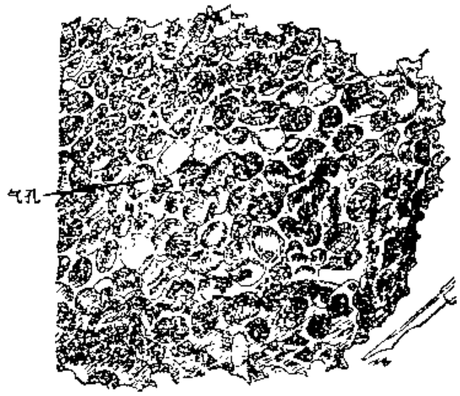


图2—28　气孔构造
(据李尚宽，1982)

(4) 枕状构造　在喷出岩层顶面有许多大小不同形似枕头的扁椭球体堆积在一起，每个岩枕下平上凸（图2—29)。是海底形成的喷出岩与海水接触迅速冷却、收缩而凝成的。水下溢出的基性喷出岩中枕状构造很常见。

(5)流纹构造　由不同颜色的条纹、拉长的气孔定向排列所显示的一种流动构造（图2—30)，是熔岩流在流动过程中形成的。多见于酸性喷出岩中。



图2—29　枕状构造
(据Hatch，1949)

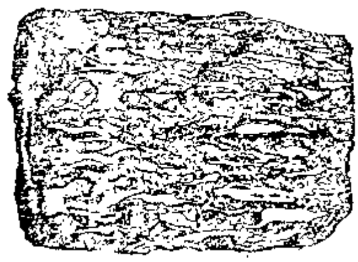


图2—30　流纹构造

(五) 火成岩的产状

火成岩产状是指岩体的大小、形状、与围岩的接触关系，以及形成时所处的地质构造环境和距离当时地表的深度等。根据岩浆的活动方式不同，可将火成岩的产状分成两大类，即侵入岩的产状和喷出岩的产状（但有时两者之间并无截然界线)。

1. 侵入岩的产状

(1) 岩床　也称岩席，是与层面呈整合接触的板状侵入体，厚度稳定（图2—31)，面积较大，多系基性岩浆顺层侵入而形成。

(2) 岩盆　是一种层间整合接触的侵入体，呈中心下凹的盆状（图2—32)，因岩浆顺

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

层侵入时其重量使底板弯曲下凹或断裂所致。

(3) 岩盖　也是一种层间整合接触的侵入体，与岩盆不同的是底部平坦，顶部拱起，中央厚边缘薄（图 2—33）。

(4) 岩脉与岩墙　岩脉是指与围岩层理或片理斜交的脉状侵入体，其长度和深度远远大于厚度，近于直立的板状岩脉称为岩墙（图 2—34）。

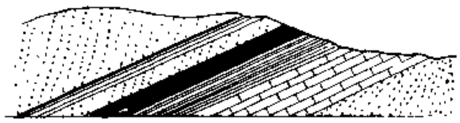


图 2—31　岩床

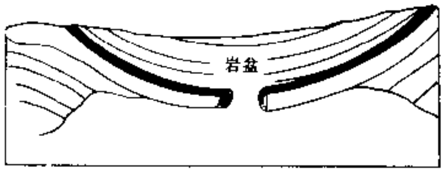


图 2—32　岩盆



图 2－33　岩盖
（据戴里）

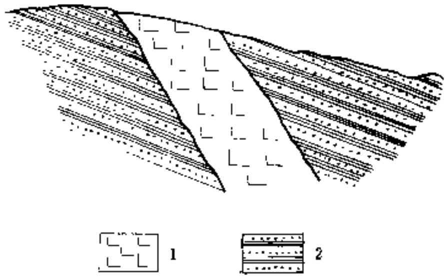


图 2—34　岩墙

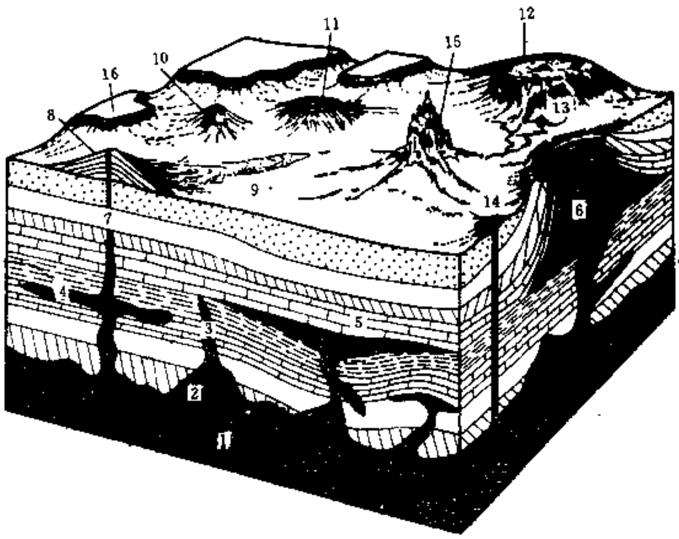


图 2－35　喷出岩与侵入岩产状综合示意图
（据夏邦栋，1995）

1—岩基；2—岩株；3—岩墙；4—岩床；5—岩盆；6—被侵蚀露出的岩盖；7—火山颈；8—火山锥；9—熔岩流；10—熔渣锥；11—小型破火山口；12—大型破火山口；13—火山碎屑流；14—小火山；15—具有放射状岩墙的火山颈；16—熔岩被

(5) 岩株　规模较大的侵入岩体，横剖面上近圆形，纵剖面上呈树干状，与围岩较陡直接触（图 2—35）。

(6) 岩基　规模庞大的侵入岩体，出露面积一般在 100km² 以上，通常由花岗岩类组成（图 2—35）。

2. 喷出岩的产状

(1) 火山锥　火山口附近由喷溢出来的熔岩流和火山碎屑物质堆积而成的锥状岩体（图2—35）。

(2) 岩钟　火山口溢出的熔岩流粘度较大，不易流动而形成钟状、穹丘状岩体（图 2—36）。

(3) 熔岩流　粘度较小的熔岩流溢出地表，流入低洼狭长河谷地带，形成熔岩流（图 2—35）。熔岩流遇到悬崖或陡坎，则形成熔岩瀑布（图 2—37）。

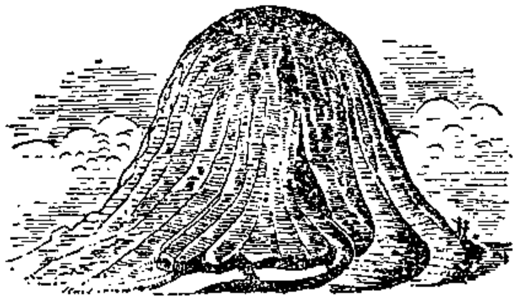


图 2—36　马达加斯加东面列维昂岛上的岩钟
（据 A.H. 查瓦里茨基）

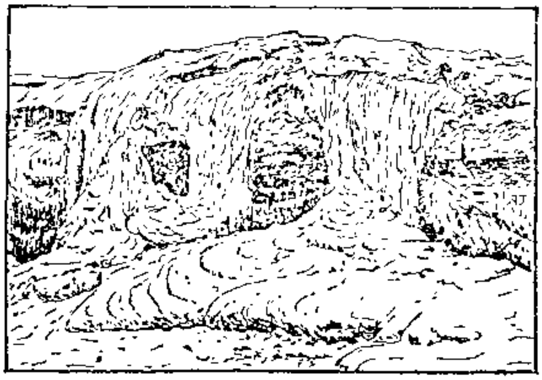


图 2—37　夏威夷群岛基拉韦亚的熔岩瀑布

(4) 熔岩被　粘度较小的熔岩流溢出地表，沿地面流动，形成面积广大的熔岩被（图 2—35）。

二、火成岩的分类

自然界火成岩种类众多、彼此之间既有差异又有联系，并且各种火成岩之间还有一系列的过渡岩石。为了深入研究各种火成岩之间的差异、联系和变化规律，以便更好地认识和鉴别它们，必须对众多的火成岩进行系统归纳与科学分类。

火成岩一般根据化学成分、矿物成分、产状和结构进行分类。

1. 化学成分分类

火成岩主要由硅酸盐矿物组成，火成岩的主要氧化物是 SiO_2、SiO_2 百分含量直接决定了火成岩中其它金属氧化物的含量多少，所以 SiO_2 的百分含量是火成岩分类的一个重要依据。

根据 SiO_2 的百分含量，火成岩可以分为：

酸性岩　　$SiO_2>66\%$；

中性岩　　$SiO_2 66\%\sim52\%$；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

基性岩　　SiO_2 52％～45％；

超基性岩　SiO_2＜45％。

化学成分分类对全部或部分由玻璃物质组成的岩石特别有用。

2. 矿物成分分类

火成岩的矿物成分与化学成分有密切的对应关系，对于显晶质岩石根据矿物成分分类是很便利的。火成岩的造岩矿物中最重要的是长石，因为绝大多数火成岩中都含有长石，并且不同的火成岩中其长石的性质与含量有很大差异，应该予以特别重视。其次应该考虑石英、橄榄石、副长石类的有或无，因为这些造岩矿物是火成岩中 SiO_2 饱和度的标志矿物。在根据矿物成分对火成岩分类时，不仅要考虑矿物的性质、有无，还应该考虑各种矿物的百分含量，目前国际上流行火成岩定量矿物成分分类。

按矿物成分划分的岩石类型与按化学成分划分的岩石类型对应关系如下：

橄榄岩—苦橄岩类	超基性岩；
辉长岩—玄武岩类	基性岩；
闪长岩—安山岩类 正长岩—粗面岩类	中性岩；
花岗岩—流纹岩类	酸性岩。

3. 产状和结构分类

火成岩根据产出环境可以分为侵入岩和喷出岩，侵入岩根据离地表的距离可以进一步分为深成岩和浅成岩。结构与产状有对应关系，深成岩往往为显晶质等粒、半自形粒状或

表 2－4　火成岩分类简表

岩类		超基性岩	基性岩	中性岩		酸性岩
		橄榄岩—苦橄岩	辉长岩—玄武岩	闪长岩—安山岩	正长岩—粗面岩	花岗岩—流纹岩
SiO_2 含量（％）		＜45	45～52	52～66		＞66
浅色矿物	石英含量（％）	0	0～微	0～20		20～60
	长石含量（％）	0～10	10～40	40～70		30～70
	长石性质	无或少量斜长石	斜长石为主	斜长石为主	钾长石为主	钾长石为主
暗色矿物种属及含量（％）		橄榄石、辉石、角闪石为主，含量＞90	以辉石为主，可有橄榄石、角闪石、黑云母等，含量＜90	以角闪石为主，辉石、黑云母次之，含量 15～40		以黑云母为主，角闪石次之，含量＜15
深成岩	全晶质、粗粒或似斑状结构	橄榄岩 辉　岩	辉长岩	闪长岩	正长岩	花岗岩
浅成岩	斑状、细粒或隐晶质结构	苦橄玢岩 金伯利岩	辉绿岩	闪长玢岩	正长斑岩	花岗斑岩
喷出岩	隐晶质、斑状或玻璃质结构	苦橄岩	玄武岩	安山岩	粗面岩	流纹岩

似斑状结构；浅成岩往往为显晶质细粒或斑状结构；喷出岩往往为隐晶质结构、玻璃质结构或斑状结构。

为了便于肉眼鉴定，本教材综合火成岩的化学成分、矿物成分、产状和结构分类，提出火成岩分类简表（表2—4）。

三、火成岩的主要类型

橄榄岩　一种超基性深成岩。灰黑色至暗绿色。主要矿物是橄榄石（40%～90%）和辉石；次要矿物有角闪石、黑云母、基性斜长石；副矿物常为铬铁矿、磁铁矿。中—粗粒结构，块状构造。由于橄榄石、辉石易遭蚀变变为蛇纹石，使岩石变为蛇纹石化橄榄岩或蛇纹岩，所以新鲜的橄榄岩比较少见。

辉长岩　一种基性深成岩。灰黑至黑色。主要矿物是基性斜长石和辉石，二者近于1∶1，均匀间杂分布；次要矿物有橄榄石、角闪石、黑云母；副矿物常为磁铁矿、钛铁矿、铬铁矿等。中—粗粒半自形粒状结构，一般为块状构造，也有条带状构造。

玄武岩　一种化学成分上与辉长岩相似的基性喷出岩。灰黑至黑色。多具斑状结构或无斑隐晶质结构，也有玻璃质或半玻璃质结构，粒度较其它喷出岩粗。斑晶为基性斜长石、橄榄石和辉石，其中的橄榄石常蚀变为红色的伊丁石。基质多为隐晶质，甚至玻璃质，肉眼难以分辨矿物成分。普遍发育气孔构造与杏仁构造，厚层玄武岩中常见六边形柱状节理，海底喷出的玄武岩有特殊的枕状构造。

闪长岩　一种中性深成岩。灰白至灰绿色。主要矿物是中性斜长石和普通角闪石，二者近于2∶1；次要矿物为辉石、黑云母，也可有少量石英（一般少于5%）；副矿物常为磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等。中—细粒半自形粒状结构，块状构造。

安山岩　一种化学成分上与闪长岩相似的中性喷出岩。颜色较玄武岩浅，常呈红褐色、浅褐色、浅红色、灰绿色等。具斑状结构或隐晶质结构。斑晶为中性斜长石、角闪石、辉石和黑云母，斜长石斑晶多呈宽板状自形晶。基质多由玻璃质和斜长石微晶等组成，肉眼难以分辨。以块状构造为主，有时具气孔构造。

正长岩　一种中性深成岩。浅灰、浅肉红、浅灰红等色。主要矿物是钾长石和中性斜长石，钾长石占长石总量2/3以上；次要矿物为角闪石、黑云母、辉石，暗色矿物占总量20%～30%；可有少量石英，最多不超过5%。中—粗粒半自形粒状结构，也有似斑状结构。以块状构造为主。

花岗岩　一种酸性深成岩。肉红、灰红、灰白等色。主要矿物是钾长石、酸性斜长石和石英，钾长石占长石总量2/3以上，石英含量在20%以上；次要矿物为黑云母、角闪石，有时可有少量辉石，暗色矿物含量一般在10%以下；副矿物常为磁铁矿、锆石、榍石、电气石、磷灰石等。中—粗粒半自形粒状结构或似斑状结构。以块状构造为主。

流纹岩　一种化学成分上与花岗岩相似的酸性喷出岩。灰、灰白、灰红、浅紫等色。多为斑状结构，也有无斑隐晶质结构和玻璃质结构。斑晶主要是石英和透长石（无色透明的钾长石），往往遭熔蚀呈浑圆状。基质为肉眼难以分辨的隐晶质与玻璃质。常见流纹构造，也有气孔和杏仁构造。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第五节　沉　积　岩

一、沉积岩的基本特征

(一) 沉积岩的化学成分

从表 2—5 可以看出，沉积岩与火成岩的平均化学成分十分接近，因为组成沉积岩的原始物质绝大部分是来自火成岩的风化产物，所以沉积岩在化学成分上继承了母岩的基本特征。但是二者也有所区别，其区别表现在：

(1) 沉积岩与火成岩中铁的总量相近，但沉积岩中 Fe_2O_3 的含量大于 FeO，而火成岩中 Fe_2O_3 的含量小于 FeO。因为沉积岩形成于富氧的地表环境，铁多以高价形式存在；火成岩多生成于缺氧的地壳深部，铁多以低价形式存在。

(2) Na_2O 与 K_2O 的总量，沉积岩低于火成岩。因为 Na、K 元素活泼，在地表环境不易固定，有相当一部分转移至水圈中。

(3) 沉积岩中 K_2O 的含量大于 Na_2O，火成岩中 K_2O 含量小于 Na_2O。因为钾易被沉积岩中的粘土矿物吸附，且含钾的白云母、水白云母在地表环境很稳定，故母岩中的钾大部分保存在沉积岩中；而钠大部分转移至海水中，故沉积岩中钠含量较低。

(4) 沉积岩比火成岩富含 H_2O、CO_2。因为地表环境中的 H_2O、CO_2 参与了沉积岩形成过程。此外沉积岩中常有大量的有机质，而火成岩中几乎没有。

(二) 沉积岩的矿物成分

沉积岩中已发现的矿物有 160 余种，主要矿物约 20 种，如石英类、长石类、云母类、粘土矿物、碳酸盐矿物、硫酸盐矿物以及 Fe、Mn、Al 的氧化物和氢氧化物矿物。一般沉积岩仅含 5～6 种矿物，多数沉积岩仅含 1～3 种矿物。

表 2—5　沉积岩与火成岩的平均化学成分（按氧化物%）

氧　化　物	地壳岩石的平均成分（V.M. 哥德斯密特和 B. 麦松）	沉积岩（F.W. 克拉克 1924）	沉积岩（克里宁 1941）	沉积岩（N.E. 兹科夫斯基 1952）	火成岩（F.W. 克拉克 1924）
SiO_2	59.26	57.95	58.16	59.17	59.14
TiO_2	0.73	0.57	0.94	0.77	1.05
Al_2O_3	15.35	13.39	15.93	14.47	15.34
Fe_2O_3	3.14	3.47	8.45	6.32	3.08
FeO	3.74	2.08		0.99	3.80
MnO		—	0.64	0.80	—
MgO	3.46	2.65	3.58	1.85	3.49
CaO	5.08	5.89	6.26	9.90	5.08
Na_2O	3.81	1.13	1.85	1.76	3.84
K_2O	3.12	2.86	2.85	2.77	3.13
P_2O_5	0.28	0.13	0.26	0.22	0.30
CO_2		5.38	—	—	0.10
H_2O	1.26	3.23	—	—	1.15
总　计	99.23	98.73		99.02	99.50

表 2—6　沉积岩与火成岩平均矿物成分比较表

矿　　物	沉积岩%	火成岩%	矿　　物	沉积岩%	火成岩%
粘土矿物	14.51	—	榍石及钛铁矿	0.02	1.15
沉积铁质矿物	4.00	—	磁铁矿	0.07	3.15
白云石及一部分菱铁矿	9.07	—	正长石	11.02	14.85
方解石	4.25	—	钠长石	4.55	25.60
石膏及硬石膏	0.97	—	钙长石	—	9.80
磷酸盐矿物	0.15	—	黑云母	—	3.86
有机物质	0.73	—	角闪石	—	1.66
白云母	15.11	3.85	辉　石	—	12.10
石英	34.80	20.40	橄榄石	—	2.65

从表 2—6 可以看出，沉积岩的矿物成分较火成岩有很大差别。首先，在沉积岩中几乎看不到火成岩中大量出现的橄榄石、辉石、角闪石等铁镁矿物和基性斜长石，而粘土矿物、氧化物矿物、氢氧化物矿物和碳酸盐矿物大量出现；其次，火成岩中长石多于石英，而沉积岩中石英多于长石，且长石中以钾长石为主、酸性斜长石次之，其它种类长石罕见。因为在表生条件下，石英最稳定，长石次之，铁镁矿物稳定性最差；长石中钾长石最稳定，酸性斜长石次之，基性斜长石稳定性最差；粘土矿物、氧化物矿物、氢氧化物矿物和碳酸盐矿物是母岩分解过程中残余的或新生成的，稳定性好。

沉积岩的矿物成分按成因分为三类：

陆源碎屑矿物　系母岩风化产物，呈碎屑状态出现。这类矿物从母岩继承而来，故又称继承矿物或他生矿物。如碎屑石英、碎屑长石等。

自生矿物　系沉积岩形成过程中新生的矿物，由母岩分解出的化学物质沉淀形成的，如海绿石等。

次生矿物　系沉积岩遭受风化作用形成的矿物。如由碎屑长石风化形成的高岭石等。

（三）沉积岩的组构

1. 结构

沉积岩的结构指组成沉积的组分的大小、形状、排列方式及其相互关系。主要有以下两种结构类型：

（1）碎屑结构　指碎屑颗粒本身的特征（粒度、圆度、球度、形状及颗粒表面特征）、基质和胶结物的特征、碎屑颗粒与基质和胶结物之间的关系（胶结类型）的总和。由机械沉积的碎屑物与充填于碎屑物孔隙内的基质或胶物形成的沉积岩都具有碎屑结构。碎屑物可以是岩石碎屑、矿物碎屑、石化的生物碎屑或火山碎屑物等，基质是细粉砂或粘土，胶结物是化学沉淀物。按碎屑颗粒粒径（d）的大小，可以将碎屑结构进一步分为：

砾状结构　　$d>2$mm；

砂状结构　　d　2～0.05mm；

粉砂状结构　d　0.05～0.005mm；

泥状结构　　$d<0.005$mm。

碎屑物粒径大小的均匀程度称为分选性。粗细均匀者分选性很好；粗细混杂者分选性差；介于二者之间分选性好或中等（图 2—38）。碎屑物棱角被磨蚀而圆化的程度称为圆度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

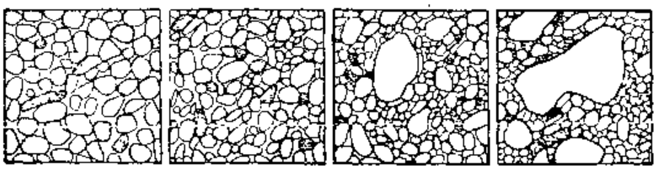


图 2—38 碎屑颗粒分选性图示
（据 Ehlers/Blatt，1982）

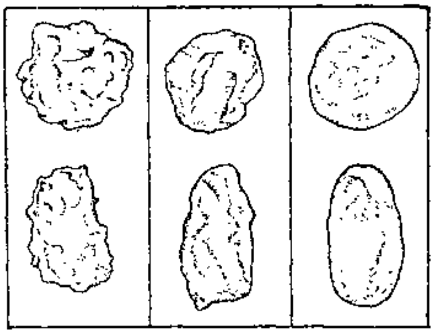


图 2—39 碎屑颗粒的圆度
（据 M. E. Tucker，1981）

碎屑物棱角全部磨蚀消失者称圆状；大部分棱角磨蚀者称次圆状；棱角尖锐或只稍有磨蚀者称棱角状（图 2—39）。

（2）非碎屑结构 由化学沉积作用和生物化学沉积作用形成的沉积岩往往具显晶质或隐晶质结构；由呈原地生长状态的生物骨骼构成格架，格架空隙内充填其它沉积物形成的沉积岩往往具生物骨架结构。

2. 构造

沉积岩的构造指由成分、结构、颜色的不均一引起的沉积岩层内部和层面上宏观变化特征的总和。沉积岩区别于火成岩最具特征的构造是层理和层面（包括顶层面和底层面）构造。

沉积岩中常见的构造有：

（1）层理 沉积岩因为成分、结构、颜色等的变化而显示的一种层状构造，这是由于不同时期沉积作用的性质变化造成的。层理中各纹层相互平行者称为水平层理（见于粉砂、泥质沉积）或平行层理（见于砂质沉积）；纹层倾斜或相互交错者称为交错层理（图 2—40）。因碎屑物的粒径从底到顶由粗向细或由细向粗逐渐变化显示的层理称为递变层理（图 2—41）。

分隔不同性质沉积层的界面称为层面；沉积层顶底层面之间的距离称为沉积岩单层厚度。单层厚度大于 1m，称为块状层；1～0.5m，称为厚层；0.5～0.1m，称为中厚层；0.1～0.01m，称为薄层；小于 0.01m，称为微层。

（2）波痕 沉积层顶层面的一种有规律的波状起伏，由一系列近平行的呈线性延伸的波峰与波谷组成（图 2—42），是由运动介质作用于沉积物表面而产生的。波痕有对称波痕与不对称波痕之分（图 2—43）。对称波痕是来回规则运动的波浪形成的；不对称波痕是介质做定向运动形成的。

（3）泥裂 在沉积层表面有许多垂直向下的多边形裂缝，裂缝断而呈上宽下窄的 V 形，裂缝内往往充填与沉积层性质不同的其它物质（图 2—44）。泥裂是浅水地带未固结的泥质等细粒沉积物暴露水面脱水收缩而形成的，是浅水环境的标志。泥裂断面的 V 形特征，可

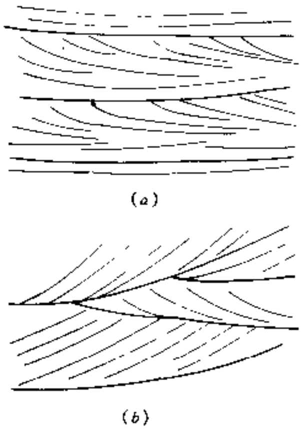


图 2—40　交错层理

(a) 层纹倾斜；(b) 层纹交错

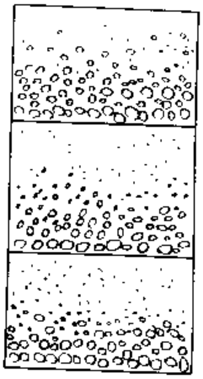


图 2—41　递变层理

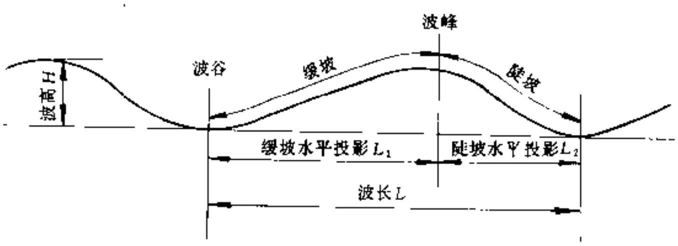


图 2—42　波浪的形态要素

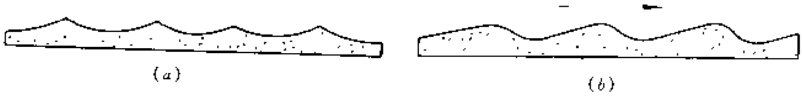


图 2—43　波痕

(a) 对称波痕；(b) 非对称波痕

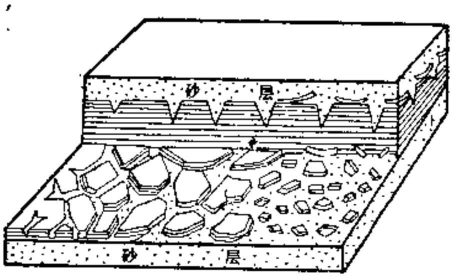


图 2－44　泥裂及其形成示意图

(据施罗克，1948)



图 2—45　印模（右下角为一条沟模）

(据哈奇和雷斯泰尔，1965)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

以作为鉴别地层顶底的依据。

印模　是一种底层面构造，在沉积层底面有许多突起，或呈线状，或呈舌状，也可呈不规则瘤状。一向延长的线状、舌状突起平行排列，是泥质沉积物顶面受到流水冲刷、或被流水携带物体刻划形成沟槽，然后被上覆砂质沉积物充填铸模而成（图 2—45）。不规则瘤状突起是在固结过程中上覆砂质沉积物对下伏泥质沉积物不均匀压实所造成的。

结核　沉积层内一种与周围物质成分截然不同的球至椭球状的矿物集合体，是在固结过程中物质重新分配的产物。不同的沉积岩中往往有不同的结核，例如石灰岩中常含燧石结核，含煤沉积物中常见黄铁矿结核等。

二、沉积岩的分类

目前国内外流行的沉积岩分类方案，都十分强调沉积岩的物质来源，以物质来源的差别作为沉积岩分类的基础。本教材根据这种观点提出沉积岩分类简表（表 2—7）。

表 2-7　沉积岩分类简表

外源沉积岩类		内源沉积岩类
陆源碎屑岩类	火山碎屑岩类	
砾岩　粒径＞2mm 砂岩　粒径 2～0.05mm 粉砂岩　粒径 0.05～0.005mm 泥岩（粘土岩）　粒径＜0.005mm	集块岩　粒径＞64mm 火山角砾岩　粒径 64～2mm 凝灰岩　粒径＜2mm	碳酸盐岩 硅质岩 蒸发岩 可燃性有机岩

（一）外源沉积岩类

所谓“外源”，是指沉积物质来源于沉积盆地之外。由母岩风化、剥蚀后形成的碎屑物质和粘土矿物，经过机械搬运、沉积、成岩作用而形成的岩石划分为陆源碎屑岩类；由火山喷发形成的火山碎屑物质经过堆积、压实、胶结或熔结作用而形成的岩石划分为火山碎屑岩类。每一外源沉积岩类又根据其碎屑物粒径大小进一步划分出若干类型。

（二）内源沉积岩类

所谓“内源”，是指沉积物质直接来源于沉积盆地之内，是由沉积盆地内的溶解物质通过化学或生物化学作用沉淀生成的。严格地说，“内源”一词不够确切，因为这些溶解物质除小部分来自地下热液外，大部分是由母岩化学风化和火山活动提供的产物。内源沉积岩类再根据其物质成分进一步划分出若干类型。

三、沉积岩的主要类型

砾岩与角砾岩　砾石（粒径＞2mm）含量 50％以上。砾石以岩屑为主，其成分或单一，或复杂，主要取决于母岩的性质。砾间空隙由砂、泥或化学沉淀物充填，化学沉淀物可能为硅质、钙质、铁质等。如果砾石呈圆状或次圆状，称为砾岩；如果砾石呈棱角状，称为角砾岩。

砂岩　砂粒（粒径 2～0.05mm）含量 50％以上。砂粒为矿屑或岩屑，矿屑成分主要是石英、长石、白云母等，岩屑成分取决于母岩的性质。砂粒间的空隙由泥质或化学沉淀物充填，化学沉淀物可能为硅质、钙质、铁质、海绿石、石膏等。按砂粒粒径大小可进一步分为巨粒砂岩（粒径 2～1mm）、粗粒砂岩（粒径 1～0.5mm）、中粒砂岩（粒径 0.5～

0.25mm)、细粒砂岩（粒径0.25～0.05mm）；按砂粒成分可以分为石英砂岩（石英含量>90%）、长石砂岩（长石含量>25%）、岩屑砂岩（岩屑含量>25%）等。

粉砂岩　粉砂（粒径0.05～0.005mm）含量50%以上。粉砂成分以石英为主，其次为白云母，岩屑和长石较少见，常混入砂和粘土。填隙物以泥质最多，其次为钙质与铁质。我国西北和华北广泛分布的黄土，是一种半固结的泥质粉砂岩。

泥岩与页岩　泥岩亦称粘土岩，主要由粒径小于0.005mm的细颗粒组成，其主要成分为粘土矿物，其次为石英、白云母等。常见的粘土矿物有高岭石、水云母、蒙脱石等。泥岩致密细腻，触之有滑感。如果泥岩中水平层理发育良好，沿层理面能剥成一页一页的薄片，则称之为页岩。

火山碎屑岩　由火山碎屑物质和胶结物两部分组成。火山碎屑物质包括岩屑、晶屑、玻屑。岩屑是火山基底的岩石和火山通道周围的岩石以及原有的熔岩和火山碎屑岩在火山爆发时形成的岩石碎块；晶屑是火山爆发时形成的矿物晶体碎片，常见的有石英、钾长石、斜长石等；玻屑是火山爆发时形成的玻璃质碎片，形态多样，一般小于2mm。胶结物或为火山灰分解产物，或为化学沉淀物，或为熔岩。火山碎屑岩通常按火山碎屑颗粒大小分为集块岩（粒径>64mm的火山碎屑占50%以上）、火山角砾岩（粒径64～2mm）的火山碎屑占50%以上）、凝灰岩（粒径<2mm的火山碎屑为主）。

石灰岩　主要成分是方解石。按其结构特征可划分为碎屑石灰岩类、晶粒石灰岩类与生物礁石灰岩类。碎屑石灰岩类按碎屑物的不同，又分为内碎屑石灰岩、生物屑石灰岩、鲕粒石灰岩、球粒石灰岩、团块石灰岩等类型。晶粒石灰岩类按晶体粒径又分为粗晶（粒径>2mm）石灰岩、中晶（粒径2～0.063mm）石灰岩、细晶（粒径0.063～0.03mm）石灰岩、微晶（粒径<0.03mm）石灰岩等类型。生物礁石灰岩类具有原地生长的生物骨架结构，多为块状，无层理，厚度大于同期沉积物。按造礁生物不同，生物礁石灰岩类又分为珊瑚礁石灰岩、海绵礁石灰岩、层孔虫礁石灰岩等类型。石灰岩的颜色呈灰～灰黑色，硬度低于小刀，遇冷的稀盐酸剧烈冒泡。

白云岩　主要成分是白云石。原生的白云岩很少见，一般是因石灰岩中的方解石在成岩或后生过程中被白云石交代而形成。白云岩的颜色呈灰～浅棕色，遇冷的稀盐酸反映微弱。在石灰岩与白云岩之间存在一系列过渡类型，根据方解石和白云石的相对含量可细分为石灰岩、含白云质石灰岩、白云质石灰岩、灰质白云岩、含灰质白云岩、白云岩等。

硅质岩　是由化学作用、生物作用和某些火山作用所形成的富含SiO_2的岩石，由机械作用形成的石英砂岩不在此列。其主要矿物成分为蛋白石、玉髓和石英，常混入一定数量的粘土矿物、碳酸盐矿物等。多为胶状结构、隐晶质结构。主要由硅藻遗体堆积形成的硅质岩称为硅藻土，疏松多孔，吸附性强。灰黑色、致密坚硬、击之起火星的硅质岩称为燧石岩，多呈结核状、透镜状或条带状产于碳酸盐岩或泥岩中。富含氧化铁、颜色较鲜艳的硅质岩称为碧玉岩，碧玉岩常与火山岩系共生。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第六节 变 质 岩

一、变质岩的基本特征

（一）变质岩的化学成分

变质岩是由不同原岩经变质作用形成的。变质作用的类型和强度复杂多样，所以变质岩的化学成分一方面与原有岩石的化学成分有密切的关系，另一方面又和变质作用的特点相关。在变质岩的形成过程中，如无交代作用，变质岩的化学成分基本上取决于原岩的化学成分；如有交代作用，由于化学组分的带进带出，所以与原岩相比，变质岩的化学成分有很大变化，既决定于原岩的化学成分，也决定于交代作用的类型和强度。

变质岩的化学成分主要有：SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、FeO、MnO、CaO、MgO、K_2O、Na_2O、H_2O、CO_2 及 TiO_2、P_2O_5 等，与火成岩相似，但不同的是其中的 Al_2O_3、SiO_2、K_2O、Na_2O、CaO、MgO 的含量有较大的变化范围。

一般而言，由火成岩变质形成的正变质岩其化学成分变化范围较小，由沉积岩变质形成的副变质岩其化学成分变化范围很大。

（二）变质岩的矿物成分

变质岩的矿物成分一方面对原岩有较大的继承性，另一方面受到变质作用类型和强度的影响，所以远比火成岩、沉积岩要复杂得多。

现将三大类岩石矿物成分特征归纳于表 2－8。

表 2－8 三大类岩石矿物成分特征

火成岩、沉积岩、变质岩中均可出现的矿物	主要在火成岩中出现的矿物	主要在变质岩中出现的矿物	主要见于沉积岩中的矿物
石英	鳞石英	钠云母	蛋白石
钾长石	白榴石	帘石类	玉髓
白云母、金云母、黑云母	歪长石	符山石、方柱石	粘土矿物
斜长石类	霞石	透闪石、阳起石	水铝石
角闪石类	黄长石	硅灰石	盐类矿物
辉石类	方钠石	蓝闪石	煤
部分石榴子石	蓝方石	软玉、硬玉	海绿石
橄榄石类	黝方石	硬绿泥石	
碳酸盐矿物	玄武角闪石	红柱石、蓝晶石	
磁铁矿		夕线石、刚玉	
赤铁矿		堇青石、十字石	
菱铁矿		硅镁石、方镁石	
磷灰石		蛇纹石、滑石	
榍石		石墨等	
锆石			
金红石			

从表 2－8 可以看出，有一类矿物比较稳定，在较大温度、压力变化条件下仍然能够保存于变质岩中，如石英、长石类、云母类、角闪石类、辉石类等；另外一类矿物是经变质

作用新生成的，如硅灰石、红柱石、蓝晶石、夕线石、十字石、堇青石、硬绿泥石、蛇纹石、滑石、石墨等。后一类矿物是变质岩所特有的矿物，它们大量出现，说明岩石已经发生明显的变质作用，也是变质岩区别于火成岩、沉积岩的重要标志。

（三）变质岩的组构

1. 结构

变质岩有两种基本结构类型：变余结构与变晶结构。变余结构，是指由于变质结晶和重结晶作用不彻底而保留下来的原岩结构的残余。例如变余碎屑结构、变余斑状结构等。变余结构常见于变质程度较浅的变质岩中，是判断原岩性质的依据之一。变晶结构，是指原岩在固态条件下重结晶和变质结晶作用过程中形成的结构。与火成岩结构相类似，变晶结构按变晶矿物相对大小，可以划分为等粒、不等粒、斑状变晶结构；按变晶矿物粒径大小，可以划分为粗粒（>3mm）、中粒（3～1mm）、细粒（<1mm）变晶结构；按变晶矿物形态可以划分为粒状、鳞片状、纤状变晶结构等。变晶结构是变质岩中最常见的结构，变晶结构貌似火成岩的结晶结构，但变晶矿物是同时结晶的，不同于火成岩中的矿物从熔体中晶出时有先后顺序之分。

2. 构造

变质岩有两种基本构造类型：变余构造与变成构造。变余构造是指变质岩中仍不同程度保留了原岩的构造，例如变余气孔构造、变余流纹构造、变余层理构造、变余波痕构造等。变余构造常见于变质程度较浅的变质岩中，是判断原岩性质的依据之一。变成构造是指由变质作用形成的构造。由于变质岩中往往有大量片状、柱状矿物定向排列，所以变成构造中最常见的是片理构造，往往按结晶程度从低到高的顺序将片理构造进一步分成板状构造、千枚状构造、片状构造、片麻状构造等。

二、变质岩的分类

目前，变质岩主要根据变质作用的类型进行分类。一般分为5类：接触变质岩类、汽一液变质岩类、动力变质岩类、区域变质岩类、混合岩类（表2—9）。

表2-9 变质岩分类简表

接触变质岩	气一液变质岩	动力变质岩	区域变质岩	混合岩
角岩	蛇纹岩	碎裂岩	板岩	注入混合岩
大理岩	青盘岩	糜棱岩	千枚岩	混合片麻岩
石英岩	云英岩	千糜岩	片岩	混合花岗岩
夕卡岩	次生石英岩		片麻岩	
			粒状岩	

三、变质岩的主要类型

角岩　是泥岩、粉砂岩及火山岩经岩浆热接触变质作用的产物。颜色较深，岩石致密坚硬。重结晶程度较低，常有变余层理构造。

大理岩　是由石灰岩、白云岩等碳酸盐岩石经热接触变质作用或区域变质作用形成的。主要矿物为方解石或白云石，可出现少量硅灰石、透辉石、透闪石等，具等粒变晶结构，块状构造。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

石英岩　是石英砂岩经热接触变质作用或区域变质作用形成的。主要矿物为石英，可出现极少量长石。具粒状变晶结构，块状构造。

夕卡岩　是中、酸性火成岩侵入碳酸盐岩间发生交代作用形成的，主要矿物是石榴子石、绿帘石、透闪石、透辉石、阳起石、硅灰石等。粒状或不等粒变晶结构，块状构造。夕卡岩是重要的含矿岩石，其中常见的有铁、铜、铅、锌、钨等矿产。

糜棱岩　是原岩经过强烈研磨作用形成的。岩石由极细的破碎颗粒组成，致密坚硬。主要矿物是石英、长石，也常见呈定向排列的绿泥石、绢云母、滑石、蛇纹石等。糜棱岩往往分布在断裂带两侧。

板岩　具板状构造。是由泥岩、粉砂岩等经轻微变质作用形成的。重结晶作用不明显，主要矿物是石英、绢云母、绿泥石等。隐晶质结构，常具有变余泥状结构和变余层理构造。

千枚岩　具千枚状构造，片理面有丝绢光泽。原岩与板岩相同，但变质程度较板岩高。重结晶程度较高，基本上已全部结晶，主要矿物是绢云母、绿泥石及石英等。隐晶质结构。在岩石的片理面或横断面常见微细皱纹。

片岩　具片状构造。原岩已全部重结晶，主要由片状、柱状及粒状矿物组成。片状、柱状矿物主要是白云母、黑云母、绿泥石、滑石、角闪石、阳起石等，粒状矿物为石榴子石、十字石、石英等。常见鳞片变晶结构、纤状变晶结构、粒状变晶结构及斑状变晶结构。

片麻岩　具片麻状构造。结构较片岩粗，为中—粗粒变晶结构。主要矿物为长石、石英、黑云母、角闪石，其中长石和石英含量超过一半，且长石含量多于石英。片麻岩是泥岩、长石砂岩、中—酸性火成岩等经中—高级变质作用的产物。

第三章　地层　古生物

地层是地壳发展过程中所形成的层状岩石的总称，包括沉积岩、火成岩和变质岩。层状岩石明显地反映了其形成时间的先后顺序，因此它和一定的时间含义相联系。成层岩石犹如一页页“地质史册”，其中岩石的沉积特征、所含的古生物化石及岩层的形变就像史书中记载的“文字”，记录了各个地质时期的发展历史及其规律，因此地层是地壳发展历史的天然物质记录。

在煤矿开发生产的煤田或矿区，地层特别是含煤地层是煤矿地质工作的对象。为了能够读懂地质资料和有关图件，了解矿区的构造和煤层分布规律，正确进行开拓开采，必须对矿区地层层序、地质时代、标志层（含煤层）及其常用的术语等基础知识有所了解。

第一节　古生物的地质意义

一、古生物及古生物学的概念

1．古生物与古生物学

地质历史时期的生物，统称为古生物。古生物学是研究古生物发生、发展、分类、分布、进化等规律的科学。古生物学研究的对象是化石——保存在地层中的古生物遗体和遗迹。遗体指生物体的本身部分，如植物的根、茎、叶和动物的骨骼、甲壳等，由遗体形成的化石称遗体化石；遗迹是被保存下来的生物生活活动的痕迹，如足迹、爬痕、粪便等，由遗迹形成的化石称遗迹化石。化石根据石化程度分为明显石化、部分石化和没有石化（例如西伯利亚冻土层中发现的猛犸象化石）三类。不论其形体大小如何，化石都能反映一定的生物特征。不能把地层中某些似乎有定形的无机结构表象特征（假化石）视为化石。

2．古生物的分类

古生物的分类基本是根据现今生物分类单位进行。界是生物最大的分类单位，生物分为动物界和植物界。界以下的分类单位依次为门、纲、目、科、属、种，种是生物分类的基本单位。以狼为例，分类位置为：

界——门——纲——目——科——属——种

动物界——脊索动物门——哺乳纲——食肉目——犬科——犬属——狼种

动物界　分为原生动物门、海绵动物门、古杯动物门、腔肠动物门、蠕虫动物门、苔藓动物门、腕足动物门、软体动物门、节肢动物门、棘皮动物门和脊索动物门（含笔石）等。人们熟悉的脊椎动物是脊索动物门中的一个亚门。脊椎动物亚门又分为无颌纲、鱼纲、两栖纲、爬行纲、鸟纲和哺乳纲。

植物界　分为低等植物菌藻类、苔藓植物门、蕨类植物门、裸子植物门和被子植物门等。

3．生物的演化

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

地球上大量较高等生物，特别是大量硬壳动物的出现始于距今约6亿a，在这以前的生物主要是海生菌藻类。地球上的生物界在演化发展过程中，不断进化，新的属种不断出现，旧的属种不断淘汰，大多数属种只存在于地史上的一定时间内，形成生物发展的阶段性。一般地说，生物演化的总趋势是由简单到复杂、由低级到高级，显示其上升进步性。生物演化的阶段性、上升进步性及不可逆性，给地层划分对比提供了依据。

二、古生物化石在划分对比地层上的意义

根据生物演化规律，运用古生物化石对地层进行划分与对比的方法称为生物地层学方法。生物地层学方法是地层学研究中最常用、最基本的方法之一。通俗地说，这种方法即“含有相同化石的地层，其时代相同；不同时代的地层，所含化石不同”，这就形成了化石的层序律。

运用化石层序律对比划分地层，使得对世界上不同地区的地层进行同时性对比变成可能，促进了大区域的、全球范围的地层对比，为建立地层系统和地质年代表奠定了基础。

三、古生物化石在研究古地理及沉积环境中的意义

保存在地层中的化石不仅可以用来鉴定地质时代，在环境及古地理分析中也具有重要的意义。由于生物的生存依赖于环境，因此可以根据生物的类别、丰度（古生物化石个体的数量）、分异度（古生物化石属种的多少）、保存状况判别其生活环境，进而判别沉积环境和古地理类型。

生物的类别是识别环境，包括水介质的盐度、水深、温度及能量等的重要标志。如珊瑚类、头足类、棘皮类等只能生存在正常盐度的海水中，而腹足类、双壳类、介形类等既可在海水中生活，也可在淡水湖泊中生活；造礁珊瑚、蓝藻、绿藻、红藻等主要生活在水深20m以内的浅水区，而头足类、放射虫、有孔虫则从浅水到深水均可生存。一些阔叶的植物主要生活在热带，而有的植物仅见于温带或温凉气候条件下，具有生长年轮，如松柏类。

生物的丰度和分异度也可敏感地反映介质的物理化学条件。在温暖、浅水、动荡、富氧及水质清洁的海域，生物大量繁殖，因此生物丰度和分异度高；而在水体局限或滞流的深水、静水、贫氧、水质混浊的水体中，生物发育困难，因此生物丰度和分异度均较低。

生物化石的保存状态可以反映介质的动力状态。在动荡浅水条件下，生物难以原地保存，仅保存化石碎片；而在深水和静水地带，化石多呈原地甚至原位保存，化石保存完好。化石的定向排列可以推断水体的流动方向。

除遗体化石外，遗迹化石也可以用于恢复沉积环境。根据遗迹化石及生物扰动强度可以判别海水的相对深度，进而解释沉积环境。

四、古生物的发展演化是地质发展史的重要组成部分

生物圈包括大气圈下部、水圈全部和地壳浅部。地壳的地质发展演化包括地壳运动，古地理和沉积环境、古生物、古气候的演变和矿产形成等多个方面。特别是在距今6亿a以来，生物界产生几次质和量的大飞跃，古生物的发展演化在地质历史发展中扮演了重要角色。

研究生物在纵向（时间）上的发展和在横向（空间）上的变化有助于分析地壳运动及古地理的变迁。地壳存在有垂直方向的和水平方向的构造运动。大陆整体水平移动，即大陆漂移是大型水平运动的证据，而大陆发生分裂、漂移的历史可以由古生物化石研究来证实。例如现代被大洋分隔的南美洲、非洲、印度、澳大利亚和南极洲在距今2亿a以前的地

层中保存有相同的动物化石，特别是丰富的爬行动物化石。这些陆栖四足动物是不可能越过大洋到另一个大陆上去的，唯一合理的解释是上述各大陆在当时曾经连结在一起。而在距今2亿a以来的地史发展过程中，大陆不断分裂、漂移，逐渐移动到现在的位置。

第二节　地层划分、对比及地质年代表

一、地层划分与对比的概念

（一）地层划分

根据地层的特征和属性，按照地层的原始生成顺序及地层工作的实际需要，把一个地区的地层划分成各种地层单位，建立地层系统，即是地层划分。

如果地层形成以后，一直保持其原始生成顺序，即老地层在下，新地层在上，称正常层序（图3—1）。但在地壳发生过强烈运动的地区，由于岩层遭受褶皱和断裂的影响，使原始地层产状发生变动，甚至倒转（图3—2），使早期形成的岩层覆盖于晚期形成的岩层之上。因此地层划分首先要判定地层的正反顺序，建立正常层序。

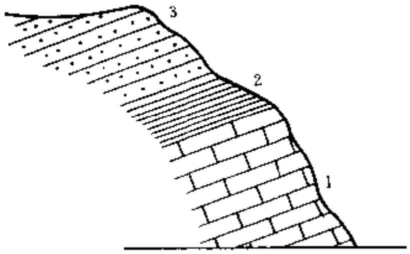


图3—1　岩层的相对新老关系

1—石灰岩，时代最老；2—页岩，时代较石灰岩新、较砂岩老；3—砂岩，时代最新

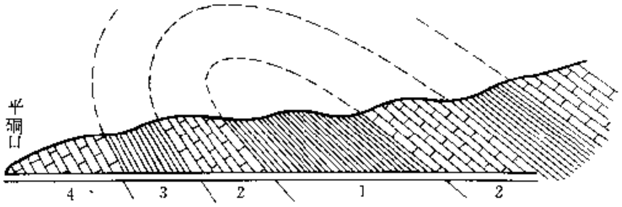


图3—2　褶皱造成的局部地层倒转

1、2、3、4—地层由老到新的顺序

地层的特征和属性是多种多样的，如岩层的几何形态、接触关系、岩性、岩石组合、化石特征、地球物理和地球化学性质等，其中任何一种特征都可以作为划分地层的依据。由于划分地层的依据和标准不同且具有多样性，因而可以划分出多种地层系统，不同种类的地层划分可以重叠在同一剖面上进行，这就是地层单位和地层划分的多重性。目前常用的有岩石地层单位、生物地层单位和年代地层单位三种。

（二）地层对比

在地层划分的基础上，将不同地区（或剖面）的地层进行比较，论证其地质时代、地层特征和地层层位的对应关系，即为地层对比。在实际工作中，由于强调的特征和依据不同，可有不同种类的对比。例如：岩石地层对比是论证岩性特征和岩石地层位置是否相当；年代地层对比是要论证地层的地质年龄和年代地层单位的位置是否相当；生物地层对比是

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

要说明含化石层的化石内容和生物地层位置是否相当。地层划分与对比两者在原则和依据上是同一的，在方法上是有密切联系的。

二、地层划分与对比的方法

（一）岩石地层学方法

凡是主要根据岩层的岩石特征来划分和对比地层的各种方法统称为岩石地层学方法。岩石特征主要指岩性、岩石组合、岩层的横向展布和岩石的变质程度等。根据岩石特征的相似程度，对地层进行划分，并建立岩石地层系统。

1. 岩性及岩石组合分析法

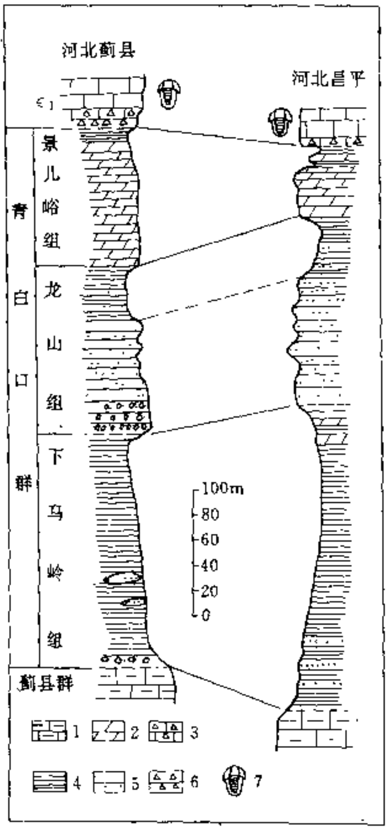


图 3－3　河北蓟县、昌平“青白口群”地层柱状对比图

1—硅质灰岩、白云岩；2— 泥灰岩；3 —角砾灰岩；4—页岩；5- 砂岩；6—角砾岩；7- 三叶虫

岩性包括组成地层各种岩石的颜色、矿物成分、结构、构造、化石特点等，它是岩石特征中最主要、最基本的内容。岩石组合指一个地质剖面中，自下而上岩性的变化，它反映沉积环境的演变，它可作为用岩石地层学法划分对比地层的基本依据。图3－3表示河北蓟县、昌平“青白口群”的岩石地层对比。剖面下部以页岩为主，夹薄层砂岩及泥灰岩；中部以粗碎屑岩为主，上部夹多层页岩；上部以泥灰岩为主，顶部夹少量页岩。剖面中岩性明显分为三部分，所以划分为三组。两个剖面虽然地层厚度不同，但岩性相近，地层层位相当，二者可以对比。

2. 标志层法

标志层是地层中厚度不大、岩性稳定、特征明显、容易识别的岩层或矿层。如含煤地层中常见的灰岩、砂砾岩、砾岩、凝灰岩及厚煤层等。

3. 旋回结构法

地层剖面中，特别是含煤地层常具有旋回结构特征。旋回结构是指在地层垂直剖面上一套岩性或共生相多次有规律的交替。如果划分的地层是海相沉积，由下向上往往出现粒度由粗变细、又由细变粗的交替岩性变化，岩性由砾岩、砂岩、泥岩、灰岩组成。这种变化是由于地壳运动引起的海进和海退环境改变所致。由于地壳运动和沉积环境改变具有一定区域性，因此地层剖面中的旋回结构常可作为区域性地层划分对比的依据。例如华北石炭系太原组内砂岩—含煤页岩—灰岩沉积序列重复出现三次，构成由三个小旋回层组成的沉积旋回结构，成为华北石炭系地层划分对比的重要依据。

岩石地层学方法是地层划分对比中应用广泛、行之有效的方法，但它的使用范围一般仅限于同一个沉积盆地，只能确定地层的相对新老关系而不能确定地层的时代。

（二）生物地层学方法

自从地球上出现生命以来，作为地质历史重要组成部分的生物界演化是极其丰富多彩的，但是它们的千变万化绝非无序，而是始终遵循着某些特定规律发展的。例如，无论是生物界总体，或是某一个门类的演化，总是遵循从低级到高级、由简单到复杂、由不完善渐趋完善的规律。尽管其演变速度有快有慢，但总趋势是向前发展的或称其为“前进性”的。生物在演化过程中，其形态和习性可能会有返祖现象，也可能出现构造简化现象，但绝不会出现真正的重复，表现出生物进化的不可逆性。生物发展演变的形式有渐变和突变，甚至经常发生由外因导致的灾变，而且每次巨大的灾变，都有大量生物绝灭和突发性演化相继发生，形成明显的生物演化的阶段性。许多生物对环境的适应有较大的容忍度，并且有不同的迁移能力和多种迁移方式。从地史发展这一巨大时间尺度来看，这种生物迁移可视为在“瞬间”完成，因而导致在同一地史时期，生物界面貌在较大范围内（甚至在全球）有大体的同一性。上述生物演化的前进性、不可逆性、阶段性和空间上的同一性均属生物演化的基本规律，也是利用古生物化石划分地层单位、确定地层相对年代和进行远距离对比的理论依据。

1. 标准化石法

在地史时期，生物界的各门类生物中，那些演化迅速、地质历程短、地理分布广、数量丰富、易于鉴别的古生物遗体化石称为标准化石，如笔石、䗴类、菊石、牙形石等。利用这些标准化石有效地划分地层，进行广泛的区域地层对比的方法，即为标准化石法。标准化石法的优点是简便、易行、经济，是生物地层划分最常用的方法（图 3—4）；但标准化石并非到处都有，也未必每层都能发现，其标准性也是相对的，因此标准化石法的运用有时会受到限制。

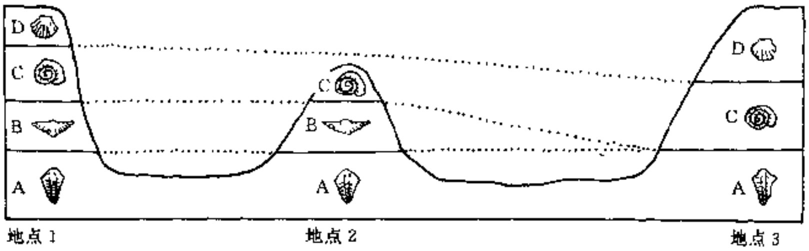


图 3—4　运用标准化石进行地层对比示意图

2. 生物组合法

在实际工作中常采用综合分析地层中所含生物群特征的方法，对地层进行划分对比，这就是生物组合分析法。具体作法是对地层中的生物化石进行全面采集，详细研究各门类化石出现情况并进行综合分析，根据生物群总貌及其在地层中的变化，对地层进行研究和对比。

（三）地层间接触关系分析法

地层记录了地质历史中地壳运动的表现形式。当某地质时期某地的地壳连续发生沉降，于是该区连续接受沉积，形成一套很厚的连续沉积的地层；当某地质时期某地地壳发生整体上升运动，于是该区遭受剥蚀，发生长时期沉积中断，因而缺失这一地质时期的地层；有

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

时由于强烈地壳运动，使原来大致呈水平状态的地层，变得倾斜、直立、甚至倒转。正因为存在上述三种情况，因此不同时代形成的地层间接触关系也分为三种：整合、假整合和不整合。

1. 整合接触

新老两套地层彼此平行接触，并且连续沉积，没有明显的沉积间断（图 3—5）。

2. 假整合（平行不整合）接触

新老两套地层虽然平行一致，但它们之间不是连续沉积，曾有过或长或短的沉积间断，因此地层有或多或少的缺失。在老地层顶面往往可见到遭受风化剥蚀的痕迹。这表明在老地层形成之后，当地地壳上升，经受风化剥蚀破坏，后来地壳再度沉降，在老地层剥蚀面上沉积了新地层，新地层底部常可见到底砾岩（图 3—6）。

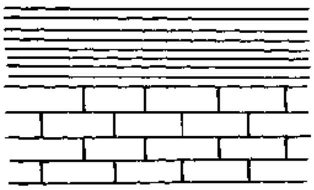


图 3—5 地层整合接触

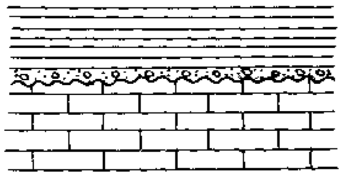


图 3—6 地层假整合接触

3. 不整合（角度不整合）接触

新老两套地层彼此不平行，有一交角，其间有明显的剥蚀面。这表明老地层形成后，曾经历较强烈的地壳运动，使老地层发生褶皱，并且地壳上升，经受长期剥蚀，后来地壳又再度沉降，在老地层的剥蚀面上沉积了新地层（图 3—7）。

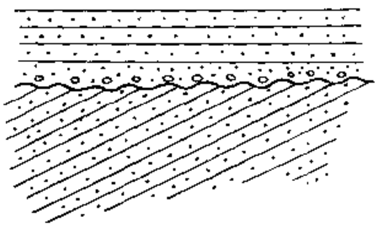


图 3—7 地层不整合接触

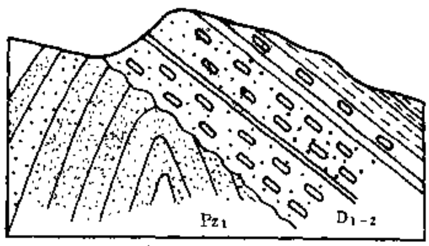


图 3—8 我国东南地区下古生界与下中泥盆统之间角度不整合接触

上述三种接触关系，特别是不整合和假整合，在划分对比地层方面起着十分重要的作用。因为它们反映的地壳运动一定是区域性的，而且由于地壳运动的影响，使地球表面面貌发生巨大变化，例如海陆变迁、地形升降、气候变化等，从而也影响到生物的演化，因此，任何不整合面都是地层划分的重要标志。我国东南一带泥盆系和下伏下古生界地层普遍存在区域性角度不整合（图 3—8），代表早古生代后期和泥盆纪初期曾发生一次巨大的构

造运动。这次地壳运动在世界上很多地区都有不同程度的表现，国际上称加里东运动，在我国称广西运动（或祁连运动）。它是地史中划时代的重大事件、是地质历史自然分期的重要标志之一，也是地层划分与对比的很好标志。

（四）放射性同位素地质年龄测定

放射性同位素是不稳定的，它产生裂变，释放出能量，最后变成稳定的终极元素。如放射性铀(^{238}U)经过裂变最后可变成为非放射性的铅(^{206}Pb)；钍(^{242}Th)可变成为铅(^{208}Pb)；铷（^{87}Rb）可变为锶（^{87}Sr）；钾（^{40}K）可变为氩（^{40}Ar）等等。若岩石中含某一放射性元素，开始时有 N_0 个原子，由于衰变，现在只剩下 N 个原子，则产生出新元素的原子数 $D=N_0-N$。如果测出岩石中已知放射性元素的原子数 N 及其衰变产物—终极元素的原子数 D，则岩石形成的年龄 t 可按式下式计算：

$$t=\frac{1}{\lambda}\ln\left(1+\frac{D}{N}\right)$$

式中 t——岩石生成的地质年龄，Ma 年；

λ——衰变常数，$\lambda=\frac{0.6931}{T}$，T 为半衰期；

D——产生的终极元素原子数；

N——测得的放射性元素原子数；

ln——以 e 为底的自然对数。

岩石同位素地质年龄的测定，对地质时代的确定，特别是对于很少含化石或不含化石的古老变质岩系年代划分对比是十分有用的方法。常用的方法有铀铅法、铷锶法等。

（五）古地磁方法

近十几年来，由于古地磁学的研究，发现较老岩石的磁化方向与现在地磁场的方向并不一致，有些磁化方向恰恰与现代地磁场方向相反，称为磁场反向（倒转）。岩石的被磁化，是指岩石形成时受当时地磁场影响的结果，所以称之为剩余磁性。如果地球磁场在某些时期是倒转的，那么不管在什么地方，在这个时期形成的岩石亦应具有反向磁化；反之亦然。结合同位素年龄资料，我们就可以用岩石的磁化方向作为标志，来建立一个鉴定岩石相对年龄的时间表，称作地磁极向年表，表中列出地磁极性倒转的分布时间及转向事件的时间。岩石磁性全球性的转换方向，在大洋玄武岩及深海沉积中得到了证实，并在洋底岩石年代划分和对比中取得良好的效果。

古地磁学的研究，使得地质年代学从一个完全不同的方向得到了发展，给岩石相对年龄的确定提供了一个重要依据。但是，将地磁极向年表推向更早地质时期（侏罗纪以前）时会遇到很多困难，因此，古地磁对比方法的应用受到一定限制。

（六）地质事件法

地史时期有许多重大的地质事件，在地层中保留了明显的痕迹，可作为地层学研究的标志。地质事件是多种多样的，如小星体撞击、火山爆发、全球性冰川的形成和消融、气候变化、海水进退等。这些地质事件虽然规模大小不同，其后果和影响各异，但其对比的基本原理是相同的，即同一地质事件所产生的物质记录可视为是同期的，因而可作等时性对比。地史研究中应该特别注意那些突发性强、影响范围广、标志明显的重大地质事件，如

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

地球磁场倒转、陨击事件、全球性冰川等。

三、地层单位的分类

（一）岩石地层单位

以地层的岩石特征和岩石类别作为划分依据的地层单位，称为岩石地层单位。它一般是适用于地区性的地层单位。岩石地层单位包括群、组、段、层四个级别。

1. 组

“组”是基本的岩石地层单位。“组”完全根据岩性来划分，岩性上表现为有一定规律性和均一性，它可能是某类岩石，也可能是几类岩石的组合，还可能以复杂的岩石组合为一个组的特征，而与其它比较单纯的组相区别。“组”的顶底界线（岩性界线）清楚，有一定的厚度（一般几米到几百米），岩性、岩相在空间上相对稳定。“组”具有一定的时间属性，但顶底界线不是严格的等时面。“组”一般以地名命名，其适用范围也是地区性的。例如栖霞组命名于南京附近的栖霞山，是一套灰黑色含燧石团块的臭灰岩，上与灰白色的茅口灰岩、下与梁山段碎屑岩含煤地层或浅色船山组灰岩界线明显，在华南地区岩相、厚度十分稳定，其时间属于早二叠世早期。

2. 群

“群”是比“组”高一级的岩石地层单位。“群”一般由两个或两个以上经常伴随在一起而又具有某些统一的岩石特征的“组”联合构成，或指一套厚度巨大、岩类复杂、未作深入研究的岩系。“群”多用于前寒武纪或陆相地层的划分，“群”与“群”之间常为明显的沉积间断或不整合。“群”也以地名命名。如五台群命名于山西五台山一带，包括四个组，由中等变质程度的岩石组成，总厚大于1.5万m，与下伏地层龙泉关群和上覆地层滹沱群均呈角度不整合接触。

3. 段

“段”是比“组”低一级的岩石地层单位，“段”代表组的一部分，并以明显的岩石特征区别于组的其它部分。如四川中侏罗统自流井组底部的东岳庙灰岩段；华北石炭系太原组自下而上划分为晋祠段、毛儿沟段及东大窑段等。

4. 层

“层”是最小的岩石地层单位。指组内或段内一个特殊的具有明显标志的岩层或矿层。如燧石层、粘土层、笔石层、银杏树层等。

一般说来，“组”是一个剖面上必须建立的岩石地层单位，而“群”、“段”、“层”则是根据需要建立的。

（二）生物地层单位

生物地层单位是根据地层中所含的生物化石内容和特征而划分出来的地层单位，是以含有相同化石内容和分布特征，并与邻层化石有别的三度空间岩层体。对一个地区的地层划分来说，生物地层单位并不是普遍建立的，那些缺少化石的地层，无法建立生物地层单位，因而各生物地层单位之间也不一定是相互连接的。生物地层单位不再分级，统称生物带，但根据所含化石组合特征分出不同类型：组合带，指所含化石内容在整体上构成与相邻地层不同自然组合的地层体；延限带，指任一生物分类单位在其整体延续范围之内所占据的地层体；顶峰带，指某些化石种、属或其它分类单位最繁盛的一段地层。

生物地层单位与岩石地层单位完全不同，两者的界线局部上可以一致，或位于不同的

层面上，或相互交叉。生物化石在地层年代划分和对比方面特别重要，生物地层单位常常接近于年代地层单位，生物地层单位界线往往与年代地层单位界线彼此一致。

（三）年代地层单位和地质年代单位

年代地层单位是以岩层形成的时代为依据划分的地层单位，代表地史中一定时间范围内形成的全部地层。地质年代单位是以特定的地质时间间隔划分的时间单位，代表地史中一定时间范围。

划分年代地层单位的意义在于确定各地区地层的时间关系，并建立世界性的标准年代地层表。由于生物演化阶段具有强烈的时间意义，因而年代地层单位划分的主要依据仍然是生物演化的阶段性特征。年代地层单位的顶底界线具有严格的等时性。

年代地层单位与地质年代单位具有紧密对应的关系，按地史中生物演化的阶段可建立6个级别的年代地层单位，它们分别是：宇、界、系、统、阶、时带。与它们对应的地质年代单位是：宙、代、纪、世、期、时（表3—1）。

表3—1 年代地层单位与地质年代单位对照表

年代地层单位	地质年代单位
宇	宙
界	代
系	纪
统	世
阶	期
时带（时间带）	时

1. 宇（宙）

“宇”是最大的年代地层单位，是“宙”的期间内形成的地层。

2. 界（代）

“界”是大于“系”、小于“宇”的年代地层单位，是在一个“代”的期间内形成的全部地层。例如按生物演化的重大阶段，把显生宇分为古生界、中生界和新生界，相对应的地质年代单位分别为古生代、中生代和新生代。

3. 系（纪）

“系”是大于“统”、小于“界”的年代地层单位，是在一个“纪”的期间内形成的全部地层。例如中生界可以划分为三个系，即三叠系、侏罗系及白垩系，相应的地质年代单位分别为三叠纪、侏罗纪及白垩纪。

4. 统（世）

“统”是小于“系”的年代地层单位，是在一个“世”的期间内形成的全部地层。一个系可分为两个或两个以上的统。如寒武系分为三个统，即下寒武统、中寒武统及上寒武统，相应的地质年代单位为早寒武世、中寒武世及晚寒武世；石炭系分为两个统，即下石炭统和上石炭统，相应的地质年代单位为早石炭世和晚石炭世。

5. 阶（期）

“阶”比“统”小一级，是“统”的再划分，“阶”是在一个“期”的时间内形成的全

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表3—2 地 质 年 代 表

宙	代	纪	距今年龄值（Ma）	生物演化
显生宙 PH	新生代 Kz	第四纪 Q	1.64	人类出现
		第三纪 R：晚第三纪 N	23.3	近代哺乳动物出现
		第三纪 R：早第三纪 E	65	
	中生代 Mz	白垩纪 K	135	被子植物出现
		侏罗纪 J	208	鸟类、哺乳动物出现
		三叠纪 T	250	
	古生代 Pz	二叠纪 P	290	裸子植物、爬行动物出现
		石炭纪 C	362	
		泥盆纪 D	409	节蕨植物、鱼类出现
		志留纪 S	439	裸蕨植物出现
		奥陶纪 O	510	无颌类出现
		寒武纪Є	570	硬壳动物出现
元古宙 PT	新元古代 Pt_3	震旦纪 Z	800	裸露动物出现
			1000	
	中元古代 Pt_2		1800	真核细胞生物出现
	古元古代 Pt_1		2500	
太古宙 AR			3850	晚期生命出现，叠层石出现
冥古宙				

（引自《中国大百科全书》，1993）

部地层，一般适用于一个大区。例如我国华北地区上寒武统由下到上划分为崮山阶、长山阶和凤山阶，相应的地质年代单位为崮山期、长山期和凤山期。

6. 时带（时）

“时带”是年代地层单位中级别最低的一个正式单位，它是一个“时”的时间内形成的全部地层，又称为时间带。它是根据生物属种的延限带建立起来的地层单位。

理论上，所有的年代地层单位和相应的地质年代单位都是世界性的。然而，只有较高级别的单位，如宇（宙）、界（代）、系（纪）、统（世）才适于世界范围内应用。随着级别的降低，远距离准确时代的对比产生很大困难，有效应用的范围也就缩小。“阶”（期）一般只适用于大区，而“时间带”（时）的对比，往往只有地方性特征。

四、年代地层表与地质年代表

年代地层表和地质年代表是两个不同的概念，年代地层表是由岩石组成的物质单位，而地质年代表则是地质时间单位，但它们之间具有严格的对应关系。由于地壳的差异升降，使任何一个地区的地层都不可能是完整无缺的，因而只有把全世界的地层综合起来，才能形成完整的年代地层系统。目前通用的地质年代表（表3—2）是经过长期的实践和历届国际地质会议的研讨后形成的。

第三节 地壳演化简史

根据同位素年龄测定，地球形成的时间大约距今45亿a，在45亿a的漫长历史中，地壳经历了若干个重大的发展演化阶段，至今仍然处在发展变化之中。

一、太古宙

太古宙是地壳发展史中较古老的一个阶段，这一时期形成的地（岩）层称太古宇。在这一阶段地壳经历了多次强烈的运动，经受很深的变质作用和多次岩浆活动，形成厚度很大、强烈褶皱、变质很深的一套古老变质岩系，如片麻岩、结晶片岩等，地层间存在多个角度不整合面。

我国太古宇分布于华北的燕山、冀东、辽宁、吕梁山区、五台山区及豫西、淮南等地。其中冀东的岩石同位素年龄为38亿a。

对五台山、太行山地区的上太古宇研究较详细，包括下部阜平群和上部龙泉关群，两者呈角度不整合接触，厚度大于10 000m，为各种片麻岩夹角闪岩、大理岩及薄层磁铁石英岩，混合岩化、变质作用强烈。太古宙末期（距今26～25亿a间）的阜平运动使上述地层褶皱、变质，与上覆地层角度不整合接触。

太古宙是生物演化的初期阶段。生命物质的起源是无生命物质运动发展到一定阶段的必然结果。先是碳氢化合物的形成，在适宜的环境（如温暖、富含多种盐分的原始海洋）中转变为蛋白质，然后再逐步发展成原始的有机体。由于太古宙的生物是不具硬壳的单细胞原核生物，又受到岩浆活动和变质作用影响，致使太古宇中极少保存有生物化石。已发现的最古老生物化石是在南非的距今32亿a地层中的原始细菌化石（图3—9）。

太古宇中的矿产以铁矿最为重要，产于冀东迁西群和辽宁下鞍山群的变质含铁石英岩为主要含矿层位。

二、元古宙

元古宙时期形成的地（岩）层称元古宇。元古宇为中变质到浅变质的巨厚岩层，与下伏太古宇呈明显不整合。在元古宙也发生多次大规模地壳运动，形成多个区域性的不整合面。

我国元古宙分为古、中、新三个代，相应的地层分为古、中、新三个界。古元古界主要分布在华北地区，以山西五台山区发育最好。古元古代早期形成五台群，为一套巨厚的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

中低变质岩系，岩层强烈变形，多期火山活动，期末的五台运动使五台群褶皱变质，与上覆滹沱群形成不整合。古元古代晚期形成滹沱群，为一套浅变质的富含叠层石的富镁碳酸盐岩为主的岩系，夹少量火山岩，地壳活动性减弱。古元古代末发生强烈地壳运动——吕梁运动，从此华北地块进入一个相对稳定发展的新阶段。

中元古界在华北地区以河北蓟县剖面为代表，由未变质的海相碎屑岩、粘土岩和富镁碳酸盐岩组成，地层总厚近万米。根据沉积特征、接触关系、叠层石和古微生物组合特征及同位素年龄，共划分为二个系，即下部长城系、上部蓟县系。

在新元古代，大约 8 亿 a 前，华北地块抬升，遭受长期风化剥蚀，这次抬升称为蓟县运动。因而华北地块主体缺失震旦纪地层，新元古界青白口系直接与古生界寒武系平行不整合接触。仅在华北地块周边的胶东、辽南、豫西、淮南一带有震旦纪地层零星分布，多以石英砂岩及碳酸盐岩为主，辽南震旦系厚度超过 3 000m。

我国南方以四川盆地为中心的部位存在古元古界，称为扬子古地块。在中、新元古代，上述地区以碳酸盐岩沉积为主，还有粗碎屑岩和火山岩等，这套地层厚度巨大，变质较浅。在扬子古地块周边及下扬子地区，包括黔东、桂北、湘西、赣北、皖南、浙西等地，普遍有中、新元古界分布。在中元古代末期（距今 10 亿 a）至新元古代中期（距今 8 亿 a）发生晋宁运动，使以扬子古地块为主体的大陆地壳逐渐增生，形成由扬子古地块及其西侧和东南缘及下扬子地区构成的稳定的扬子大陆地块。

新元古代后期（距今 8～6 亿 a），地史上专门划分出震旦纪这一地质年代单位。震旦系已具备典型盖层的沉积特征，生物演化方面出现丰富的裸露动物群和大量藻类（图 3－10），但化石的丰度和保存程度又远不如古生代的寒武系。我国震旦系在华南有广泛的分布，代表剖面是鄂西三峡。三峡震旦系总厚数百至千余米，为海相碎屑岩、冰碛层、浅海硅镁质碳酸盐岩等。

震旦纪时，全球普遍经受了一次寒冷气候，其证据是震旦系中的冰碛层和杂砾岩。此次冰期以后，许多地方出现干热性气候，我国四川以南等地出现含石膏和岩盐的白云岩。震旦纪后期，气候转为温暖，广泛分布的浅海为软体裸露动物群的发展提供了很好的生态环境。

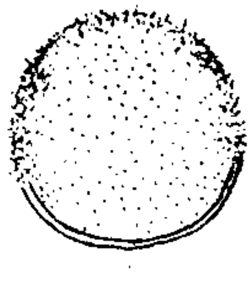


图 3－9　原始细菌化石
（可见到部分细胞壁）



图 3—10　震旦纪的同圆藻化石

元古宇中赋存丰富铁矿，我国著名的鞍山式铁矿和宣龙式铁矿就产于元古宇中。此外，元古宇中还出产铜矿、菱镁矿、磷矿、含金和含铀的变质砾岩及非金属矿产，如白云石、金云母、石墨、金刚石及刚玉等。

三、早古生代

早古生代包括寒武纪、奥陶纪和志留纪，相应的下古生界包括寒武系、奥陶系、志留系。早古生代自 6 亿 a 前的寒武纪初至 4 亿 a 前的志留纪末，延续约 2 亿 a 左右。从早古生代开始，地球历史发展到一个新的阶段，我国大部分地区为广阔的浅海。

华北地块在寒武纪至早奥陶世是地壳缓慢下降，接受沉积的时期，普遍发育滨、浅海相碳酸盐岩为主的地层。中晚奥陶世至志留纪地壳普遍上升，遭受剥蚀，缺失沉积。从震旦纪到志留纪，华北地块经历了上升（海退、遭受剥蚀）、下降（海侵、接受沉积）、再上升（海退、遭受剥蚀）三个阶段，反映了一个巨大的地壳升降和海侵旋回。

华南的扬子地块在早古生代与华北地块不同，是长期遭受海侵，接受沉积的地区，主要沉积了正常浅海碳酸盐岩。

在扬子地块东南的华南地区（包括皖南、浙西、湘中、桂东一线东南广大地区），华北地块以北的天山—兴安地区和以南的昆仑—秦岭及祁连山区，滇西地区，均为地壳活动带。其中以祁连山最为典型，志留纪末加里东运动使地层全部褶皱隆起，并有岩浆活动，使下古生界全部遭受变质，形成加里东褶皱带。

早古生代是海洋无脊椎动物大发展的时期。寒武纪早期生物界发生了飞跃，出现了大量的门类众多的较高级大型无脊椎动物，这是动物界的第一次大发展。寒武系中的生物化石以三叶虫（图 3—11）最多，其次是腕足类（图 3—12），其它为软体动物、蠕虫动物和古杯类（图 3—13）等。

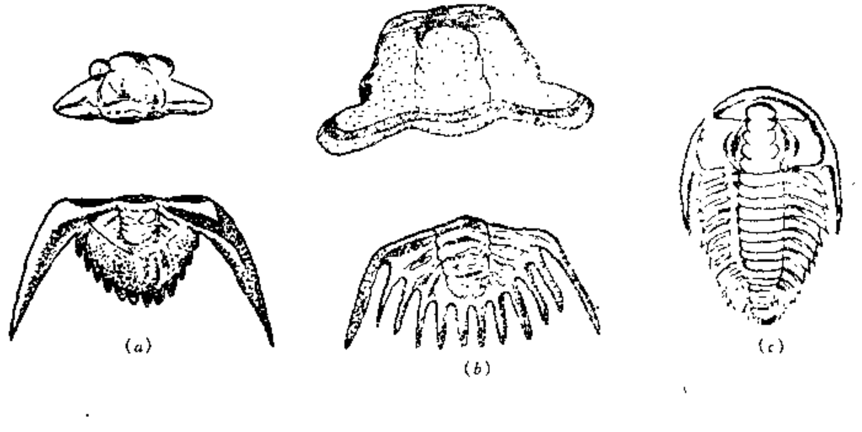


图 3—11 三叶虫化石

(a) 蝙蝠虫 (ϵ_3)；(b) 德氏虫 (ϵ_2)；(c) 雷氏虫 (ϵ_1)

奥陶纪时，海生无脊椎动物进一步发展，达到了极盛时期，无论在种类上或数量上都远远超过了寒武纪。三叶虫进一步发展，出现了多种多样的类群。腕足类进化为灰质外壳的有铰纲腕足类，如正形贝类（图 3—14）、共凸贝类、扬子贝（图 3—15）。笔石动物在奥

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

陶纪得到大量发展（图 3—16）。头足类中的直角石和珠角石（图 3—17）是奥陶纪重要标准化石。此外，海林檎、腹足类、珊瑚及牙形刺也都得到相当的发展。

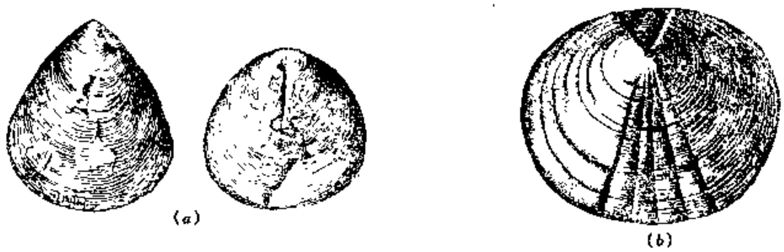


图 3—12 寒武纪的腕足类化石

(*a*) 古圆货贝的腹、背 (Є)；(*b*) 乳房贝 (Є$_{1-2}$)

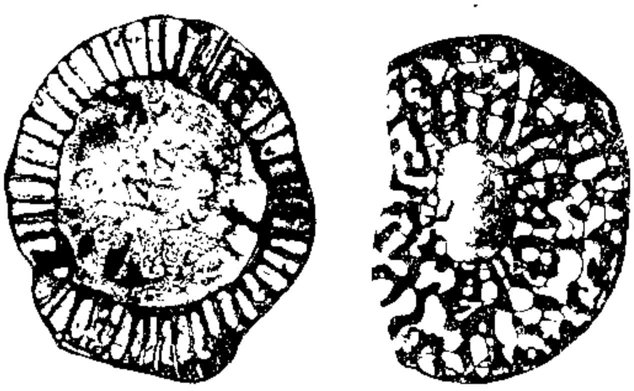


图 3—13 寒武纪的古杯动物化石

(*a*) 泰勒古杯 (Є$_1$)；(*b*) 网格古杯 (Є$_1$)

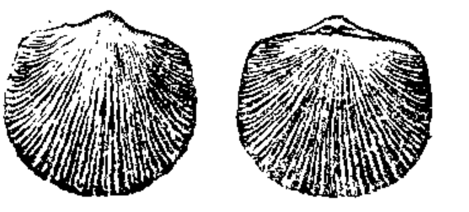


图 3—14 中华正形贝 (O_1)



图 3—15 扬子贝 (O_{1-2})

志留纪海生无脊椎动物发生了重大变化。三叶虫大量减少；笔石动物以单笔石类（图 3—18）发展为特征，并在志留纪末大量绝灭；腕足类中五房贝（图 3—19）为志留纪标准化石，并开始出现内部构造较复杂的石燕类；珊瑚类中床板珊瑚和四射珊瑚（图 3—20）较



图 3—16　对笔石 (O_{1-2})

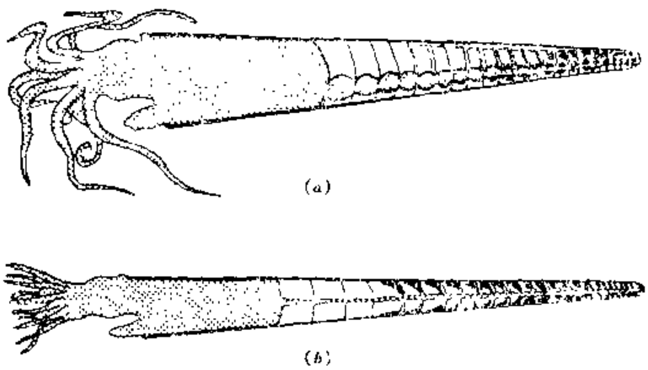


图 3—17　珠角石与直角石 (O_2)
(*a*) 珠角石；(*b*) 直角石



图 3—18　志留纪的单笔石 (S)

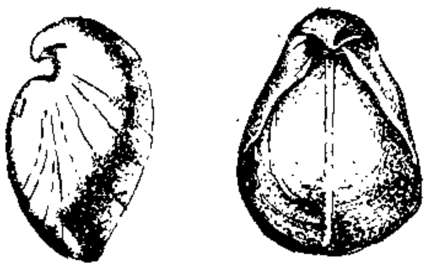


图 3—19　志留纪的五房贝 (S)



图 3—20　志留纪的泡沫珊瑚
(属四射珊瑚目) (S)

为繁盛；头足类有所减少。志留纪生物界的巨大变化还表现在陆生、半陆生植物的发展和淡水原始脊椎动物无颌类和盾皮鱼类的出现，这是生物征服大陆的开始，在这以后至泥盆纪，生物界进入了一个新的发展阶段。

早古生代地层里有很多含矿层位。铁、锰、铝、磷等沉积矿产在下古生界有广泛的分布。干旱气候条件下形成的盐类矿产也是早古生代地层中的重要矿产，如华北奥陶系的石膏。我国南方下寒武统底部常含石煤，石煤的形成与藻类大量生长有关，含炭量高者可作为燃料。石煤中常常伴生稀有分散元素或放射性元素。

四、晚古生代

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

晚古生代包括泥盆纪、石炭纪和二叠纪，相应的上古生界包括泥盆系、石炭系、二叠系。晚古生代自4亿a前的泥盆纪初至2.3亿a前的二叠纪末，延续约1.7亿a。其中石炭纪、二叠纪是地史上重要的聚煤期。晚古生代古地理面貌有很大变化，沉积类型比早古生代更加复杂多样。

华北地块自奥陶纪中期海水退去以后，上升为陆，经过中晚奥陶世、志留纪、泥盆纪和早石炭世的长期风化剥蚀，至晚石炭世时，才重新下降接受沉积。因此，上石炭统直接覆盖于中奥陶统侵蚀面之上。华北地区由于经历了约1.4亿a的风化剥蚀，使地形平坦，趋于准平原化。晚石炭世整个华北地块地壳升降频繁，引起海水多次进退。当海水退出时，陆地沼泽广布，植物繁茂，成为有利的成煤环境；当地壳下降时，发生大面积海侵，形成海陆交互相的由石灰岩、砂页岩及煤层组成的煤系地层。石炭纪末期，华北地块逐渐上升为陆，华北地块的大部分从二叠纪开始接受陆相沉积。二叠纪初期，气候仍很潮湿，植物繁茂，为成煤提供了丰富的原始物质，故下二叠统下部山西组仍是重要的含煤地层。早二叠世晚期至晚二叠世末，由于气候变得干燥，在盆地中普遍沉积了红色砂页岩，一直继续到中生代。而当时的华北南部（豫淮盆地）邻近华南海滨，仍生长着茂密的森林，形成"南型北相"的含煤岩系。华北地块古生代成煤期主要是晚石炭世和早二叠世的早期，形成了包括上石炭统太原组和下二叠统下部山西组的含煤地层，南部地区还包括下二叠统上部下石盒子组和上二叠统上石盒子组。华北石炭二叠纪煤系是我国最重要的含煤地层。



图3—21　裸蕨复原图（D）

华南地区晚古生代古地理面貌较为复杂。加里东运动导致扬子地块与东南地区连为一体，形成地史上的华南地块，并且大部露出海面。泥盆纪早期，仅在黔、桂、滇及粤北、湘中和湘南一带形成粗碎屑沉积，其它地方均遭受风化剥蚀。中泥盆世以后发生大规模海侵，沉积以碳酸盐岩为主的地层，超覆在不同时代的老地层之上，含极其丰富的腕足类、珊瑚等化石。这次海侵一直延续到早二叠世末期，在这一时期内，整个华南只有个别地区在某一短时期内上升为陆，并有含煤地层形成，如湘中的早石炭世测水组煤系、黔中早二叠世早期的梁山组煤系。早二叠世末期，发生强烈地壳运动（东吴运动），使海水退出，并导致晚二叠世华南出现海陆交互相的成煤环境。晚二叠世早期，华南到处是广阔的滨海沼泽，森林茂密，同时地壳小型振荡频繁，海水时进时退，沉积了上二叠统龙潭组煤系。二叠纪末期又出现海侵，一直持续到三叠纪。华南地块晚古生代成煤期包括早石炭世、早二叠世和晚二叠世三个时期，前两个时期只有个别地方有煤生成，煤层薄，煤质差，多为无烟煤；晚二叠世煤系几乎在华南各地均有分布，经济价值大，为开采的主要对象。早二叠世末期发生的地壳运动造成东部上、下二叠统之间的不整合，西部云、贵、川交界处有大片玄武岩流溢出，最厚达2 500m。

在晚古生代，我国东南地区，包括浙、闽、粤沿海及台湾仍处于地壳活动带，发育深水相变质岩系和火山岩。塔里木—华北地块以北的天山—兴安地区，为海相碳酸盐岩及火

山岩、碎屑岩系，地壳活动强烈。华北地块以南的昆仑—秦岭地区为海相碎屑岩和碳酸盐岩系，轻度变质，也属于地壳活动区。

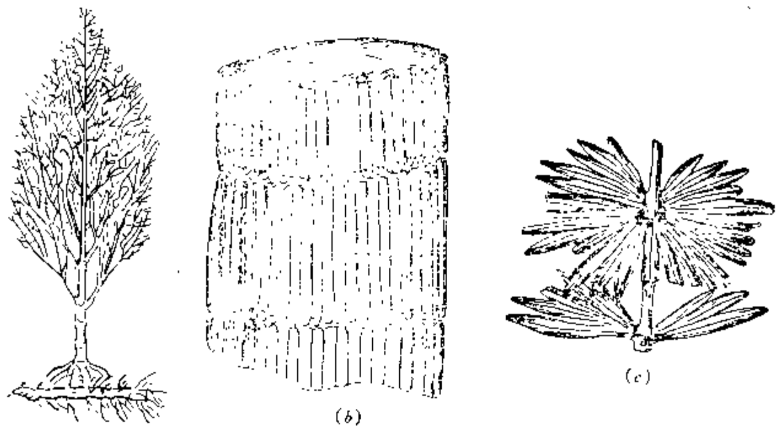
晚古生代大陆的扩展、陆地面积的增加，给生物界由水生到陆生的发展创造了条件。生物界经过早古生代长期演化，至泥盆纪进入了一个新阶段，即陆生植物和脊椎动物大发展，它们与无脊椎动物一起构成晚古生代生物界"三足鼎立"、分别发展的格局。

泥盆纪是裸蕨植物（图3—21）大发展的时期，裸蕨植物是介于水生和陆生间的过渡类型。泥盆纪又称为鱼类时代，属无颌纲的甲胄鱼（图3—22）在泥盆纪十分繁盛。



图3—22 甲胄鱼类中的半环鱼复原图（D）

石炭纪因沼泽遍布、气候湿润，植物得到进一步发展。此时，地球上首次出现大规模的森林，主要代表有节蕨类（图3—23）、石松类（图3—24）、真蕨类以及裸子植物中的种子蕨（图3—25）、科达树（图3—26）等，石松类植物的发育达到顶峰（图3—27）。石炭纪是两栖类动物空前繁盛的时代，两栖类是动物由水生走向陆地的第一阶段。石炭纪时，海生无脊椎动物以珊瑚（图3—28）、腕足类（图3—29）、蜓类（图3—30）、棱角菊石类（图3—31）和牙形刺等最为繁盛，并在地层划分对比上具有重要意义。



(*a*) (*b*) (*c*)

图3—23 节蕨类植物（芦木）

(*a*) 芦木植物复原图；(*b*) 纯肋芦木（C_2-P_1）；(*c*) 轮叶（C—P）

早二叠世植物与石炭纪相似，只是种属有所改变（图3—32）。晚二叠世植物界面貌大为不同，在古生代占优势的木贼类、石松、真蕨、种子蕨、科达树等有所衰退，代之而起的是能够适应多种环境的裸子植物，例如银杏、苏铁、本内苏铁、松柏类等相继出现。这种现象与气候分异有着密切的关系。随着气候分异以及植物对各气候带的适应，造成石炭二叠纪明显的植物地理分区，植物已脱离初期（志留纪、泥盆纪）对水体的依赖，陆地出现了森林密布、万木参天的繁荣景象。二叠纪脊椎动物仍然是两栖类最为繁盛，但到二叠

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

纪晚期已有原始爬行类出现。海洋无脊椎动物中二叠纪仍以䗴类、腕足类、珊瑚、菊石、牙形刺等具有重要意义，并有特定的种属作为标准化石（图 3—33）。到二叠纪末，䗴类、四射珊瑚、床板珊瑚、棱角石类、三叶虫、笔石及腕足类中的大部分属种等完全绝灭，而双壳类、腹足类、菊石类等继续繁荣，并在中生代大大地发展，标志着海生无脊椎动物巨大变革的到来。

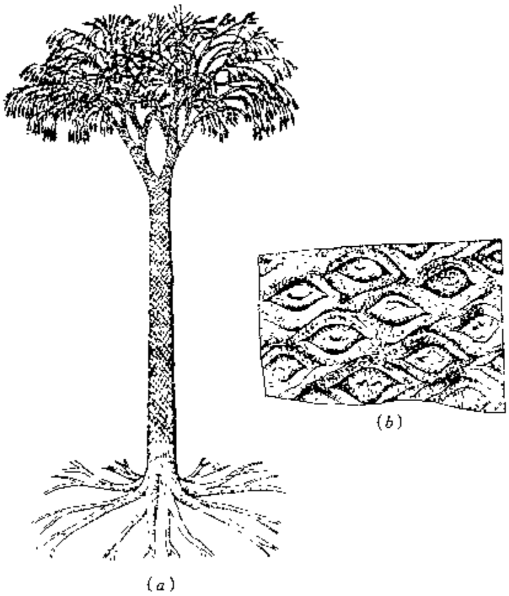


图 3—24　石松类植物（鳞木）

(*a*) 鳞木复原图；(*b*) 猫眼鳞木（C_2—P）

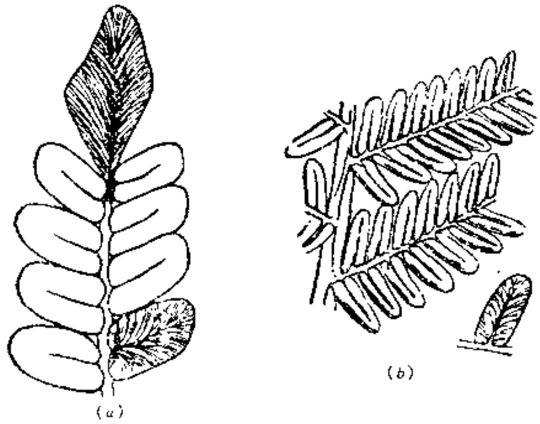


图 3—25　种子蕨植物

(*a*) 脉羊齿（C—P）；(*b*) 栉羊齿（C—P）

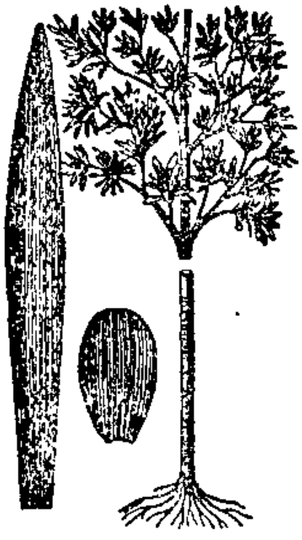


图 3—26　科达树（C—P）



图 3—27　石炭纪的森林景观

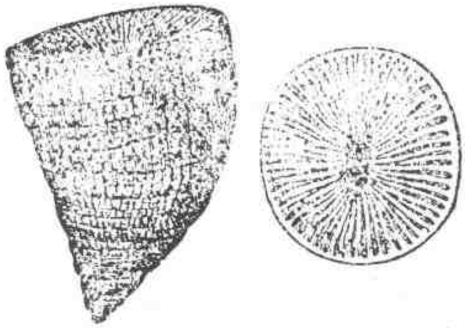


图 3—28 内沟珊瑚（C_1）的外形及横切面

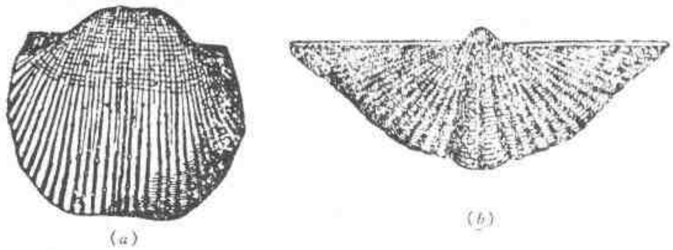


图 3—29 腕足类化石

(a) 长身贝（C—P）；(b) 石燕（C—P）

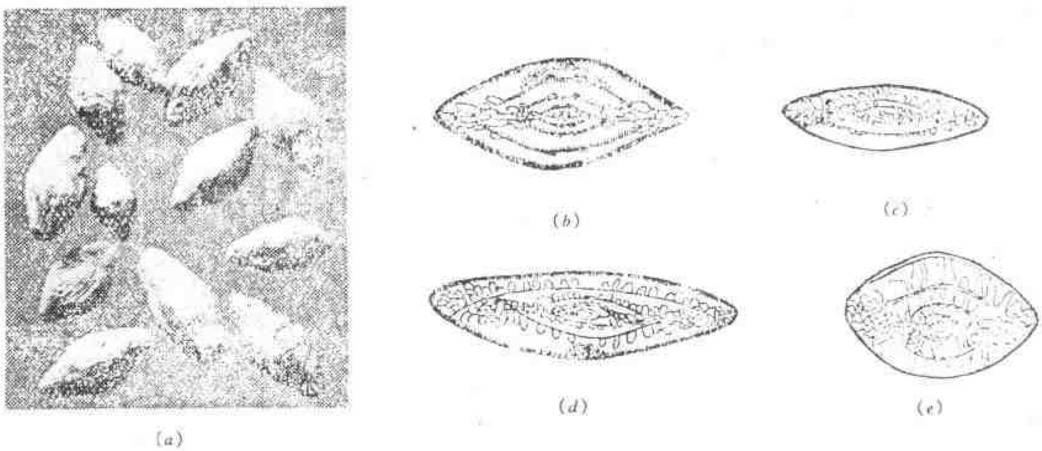


图 3－30 几种䗴化石

(a) 麦粒䗴外形；(b) 麦粒䗴（C_3—P_1）；(c) 纺锤䗴（C_2）；

(d) 希瓦格䗴（C_3—P_1）；(e) 古䗴（P_2）

晚古生代是重要的成矿期，有由于岩浆活动而形成的内生金属矿产，还有很多沉积矿产，如煤、铁、铝、锰、石膏等。晚古生代是地史上第一个重要的聚煤期。我国华北及西北地区晚石炭世太原组、早二叠世山西组及其相当层位是极重要的含煤地层；华南的聚煤期则主要是晚二叠世的龙潭组。除煤之外，华南晚泥盆世地层中的“茶陵式铁矿”、“宁乡式铁矿”，石炭二叠纪含煤地层中的菱铁矿层、铝土矿层以及二叠纪后期红色岩系中的含盐矿床都具有工业意义。

五、中生代

中生代包括三叠纪、侏罗纪、白垩纪，相应的中生界地层包括三叠系、侏罗系、白垩系。中生代从 2.3 亿 a 前开始，延续至 0.7 亿 a 前，历时 1.6 亿 a。由于该地史发展阶段生

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

物界的演化过程介于古生代古老类型与新生代近代类型之间的中间阶段，所以称为中生代。

中生代初期，我国北部的华北地块早已成为陆地，而南部地区仍大多为浅海。至三叠纪末，由于印支运动，我国南部也大多成为陆地。侏罗纪除了西藏、新疆西南和云南、四川西部、广东中南部、湖南东南部、黑龙江的东北部等边缘地区尚有海水侵入之外，其它地方主要是陆相沉积。到白垩纪，只有台湾、西藏及昆仑山南部还有海相沉积。



图 3－31 棱角菊石（c）

在我国，中生代是一个地壳运动比较强烈的时期，特别是东部地区，侏罗纪、白垩纪曾多次发生强烈褶皱和岩浆活动。这个时期的地壳运动在华北燕山地区表现明显，所以称为燕山运动。由于强烈地壳运动，发生褶皱和断裂使东亚地区形成了北北东向特殊的构造格局（新华夏系），并造成大陆边缘一系列断陷盆地和火山岩—深成岩带。我国东部的盆地群自西向东明显地分成三列：即鄂尔多斯—四川盆地、松辽—华北—江汉盆地、鄂霍次克海—日本海—南海盆地，地壳活动强度自西向东逐渐加强。盆地中成为煤、石油和油页岩生成的良好场所，火山和岩浆活动形成了重要的内生矿床。

在中生代，我国境内的气候大致经历了由干旱转为潮湿，再由潮湿转为干旱的变化。例如在中三叠世，四川中部曾是浅海和泻湖环境，受干旱气候带的影响，有丰富的岩盐和石膏等矿产的沉积，从晚三叠世开始，气候逐渐转为潮湿，有利于植物生长和煤的聚积。因此晚三叠世和侏罗纪成为我国第二个重要的聚煤期。我国中生代含煤地层时代西南及南方多为晚三叠世—早侏罗世，华北为中侏罗世，东北多属晚侏罗世—早白垩世，有较明显的由西南向东北逐渐变化的趋势。这反映了中生代的潮湿气候带最先分布在我国西南，然后随着时间的推移，逐渐向东北方向迁移，因此我国东北角的黑龙江有利于成煤的气候条件直到晚侏罗世才出现。当潮湿气候带逐渐向东北迁移的同时，干旱气候又逐渐控制了我国大陆。例如中、晚侏罗世的四川盆地气候已不适宜聚煤，形成的红色砂页岩是典型干旱气候条件下的产物；白垩纪我国许多地区有红色岩系沉积，其中常发现岩盐、石膏等矿产。

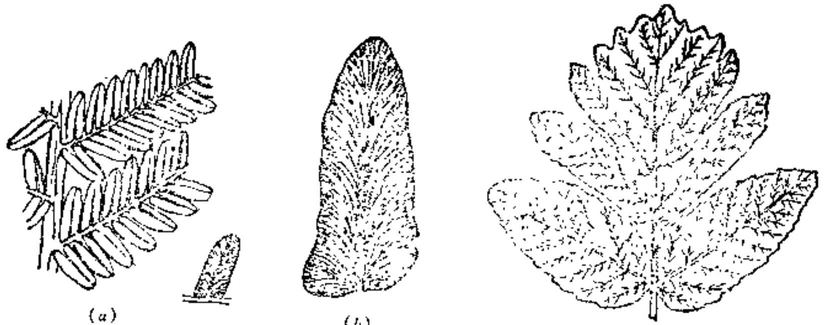
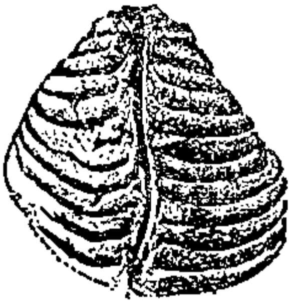
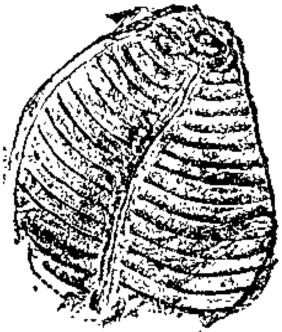


图 3—32 二叠纪时的真蕨类及种子蕨类植物化石

(a) 栉羊齿 (C_2-T)；(b) 脉羊齿 (C—P)；(c) 大羽羊齿 (P)





(a)　　(b)

图 3—33　二叠纪时的腕足类动物化石
(a) 欧姆贝 (P_2)；(b) 蕉叶贝 (P)

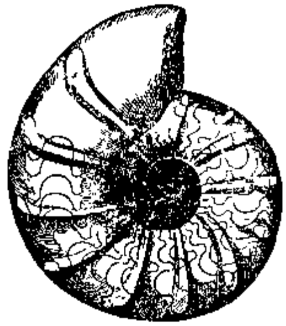


图 3—34　菊面石 (T_2)

生物界在古生代末期曾经历了一次巨大的变化。许多盛极一时的生物，如无脊椎动物中的三叶虫、笔石、四射珊瑚、𩾃类等全部绝灭；有些则是绝大部分绝灭，如腕足类；而菊石类（图 3—34)、箭石类大量发展，菊石类在中生代成为最重要的海洋生物，直至白垩纪末绝灭。中生代有孔虫分布广泛，白垩纪再度繁盛，在造岩方面起重要作用。淡水生物中的双壳类、腹足类大量发展。

中生代脊椎动物中新兴的爬行类取代了两栖类，成为最繁盛的生物类群，所以有人将中生代称为"恐龙时代"，恐龙是中生代称霸世界的大型爬行动物的总称（图 3—35，图 3—36)。

在植物方面，中生代的特点是裸子植物的兴起和繁盛，它们取代了孢子植物而居于统治地位。主要代表是银杏（图 3—37)、苏铁和松柏类（图 3—38)。

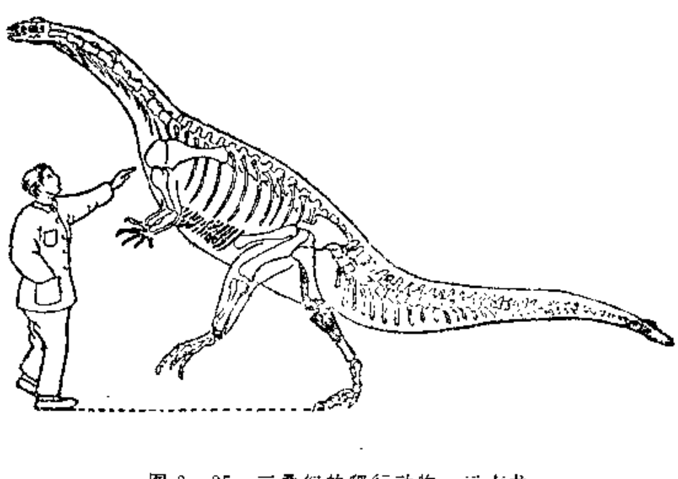


图 3—35　三叠纪的爬行动物—云南龙

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

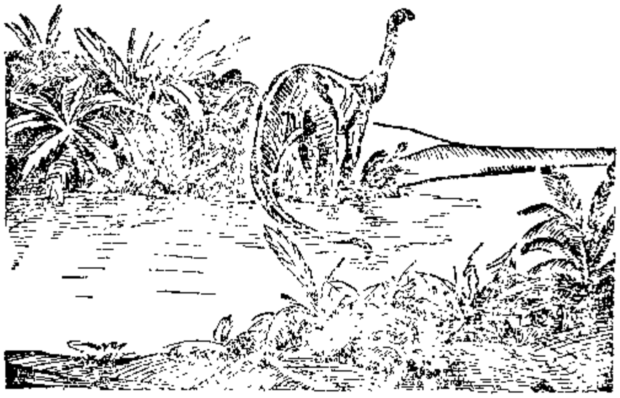


图 3—36 恐龙生态示意图

银杏类为高大的乔木，开始出现于晚石炭世，至侏罗纪中期鼎盛，遍布世界各地，白垩纪后期大多已绝灭，现只残留一种且分布仅限于东亚（主要在我国）。古代银杏的化石主要是其叶片，常见于中生代含煤地层中。苏铁在中生代是植物界的重要组成部分，在三叠纪和侏罗纪达到极盛，大部分在白垩纪后绝灭，其化石主要也是叶部化石，常见于中生代含煤地层中。松柏的祖先在晚石炭世已有，到晚侏罗世和早白垩世达到极盛，晚白垩世开始衰退，但现在仍然是残留的裸子植物中最重要的代表。裸子植物在中生代极为繁盛，由于裸子植物比古生代的孢子植物更能适应内陆环境，所以中生代的含煤地层在远离海洋的内陆也有广泛的分布。

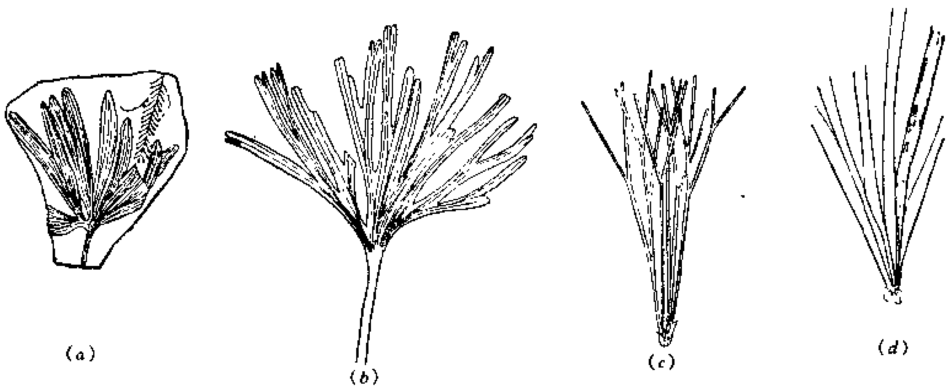


图 3—37 银杏植物化石

(*a*) 似银杏（T—R）；(*b*) 裂银杏（T_3-K_1）；(*c*) 线银杏（T_3-K_1）；(*d*) 凤尾银杏（T_3-K_1）

中生代地层中含有许多矿产，其中以石油、煤、铁、含铜砂岩、盐类等和内生金属矿产最为重要。我国中生代盆地中和大陆沿海的陆棚区有丰富的陆相和海相油气田。我国中生代以侏罗纪煤田分布最广、价值最大。盐类矿产多产于三叠纪地层中。沉积铁、铜、铝矿多产于中生代陆相盆地中。由于燕山运动引起的岩浆活动使燕山期成为我国东部最主要

的内生成矿期，以产钨、锡、钼、铋、铁、铜、铅、锌及汞、锑、金等为特征。

六、新生代

新生代是地壳演化历史上最新的一个阶段。新生代形成的地层称新生界。与中生代相比较，这时的生物界又有了明显的新发展，所以称为新生代，意思是“新的生命”的时代。新生代从0.7亿a前延续至今，共划分为两个大阶段，即第三纪和第四纪。第四纪从200万a前开始，一直延续到现在。

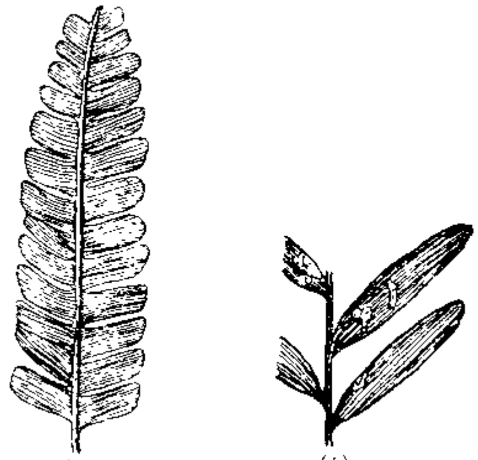


图3－38 苏铁和松柏类化石

(a) 苏铁类的蕉羽叶 (T_3－R)；

(b) 松柏类的苏铁杉 (T_3－K_1)

在我国，新生代后期的海陆分布大致已与现代接近，仅在东部沿海边缘地区曾发生过海侵。在新生代时期，西藏喜马拉雅地区、东部沿海某些边缘地区及台湾等岛屿尚为海水所占，这些地区有海相地层沉积，其余各地均为大陆，因此我国新生界以陆相地层为主。新生界的陆相地层，由于经历时间较短，受地壳运动的影响甚微，不少地区的地层尚保存着原始的近水平状态，或仅发生断裂而未遭到强烈褶皱。特别是第四纪的沉积物，大多仍呈松散状，尚未固结成岩。但在经历了强烈地壳运动的地区，如台湾岛及喜马拉雅地区，则是另一种情况，岩层受到褶皱和断裂，并伴有岩浆活动和变质作用。新生代大规模的地壳运动主要发生在第三纪中期和晚期，由于喜马拉雅山脉是这时形成的最典型地区，故将这一时期的地壳运动称为喜马拉雅运动，简称喜山运动。

在岩浆活动方面，主要是玄武岩流的溢出。我国东部地区的火山活动曾相当活跃，个别还一直延续到近代，如东北德都五大莲池的火山群在公元1702年还喷发过。

第四纪由于气候的变化，世界上曾发生过多次冰期（寒冷）和间冰期（温暖或炎热）的交替，我国也不例外。但是即使在寒冷的冰期，也并不是到处为冰层所覆盖，只是冰川分布的地区较广。例如我国东部一些山区和山麓平原已发现有第四纪冰川遗迹。在冰期，生物界并没有全部毁灭，一些不能适应新环境的属种被淘汰，其余各种动植物经受了考验并进一步演化；而在间冰期，生物界则又获得大量的发展。目前正处于间冰期的时代。



图3－39 鸭嘴兽

新生代的植物界与现代植物已很接近，被子植物替代了裸子植物，在陆地占统治地位。第三纪气候比较温暖，有利于植物大量繁殖，因此成为地史上第三个重要聚煤期。由于当时我国常受干旱气候影响，所以第三纪含煤地层在我国远不如前两个聚煤期重要。属于这一时期的个别煤田仍有很大经济价值，其中常赋存厚度超过百米的特厚煤层，如辽宁抚顺和云南昭通是最著名的代表。

新生代的动物界，曾在中生代盛极一时的大型爬行动物恐龙类全部绝灭，脊椎动物中演化最高级的哺

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

乳类动物继而兴起，最终出现了人类，所以人们称新生代为哺乳动物的时代。此外，鸟类和鱼类也很繁盛。哺乳动物是从爬行动物演化而来，从爬行动物到哺乳动物过渡阶段的代表是生活在澳洲的鸭嘴兽（图 3—39）。这种小兽靠生蛋繁殖，却靠吃奶长大，是爬行类和哺乳类之间的过渡类型。

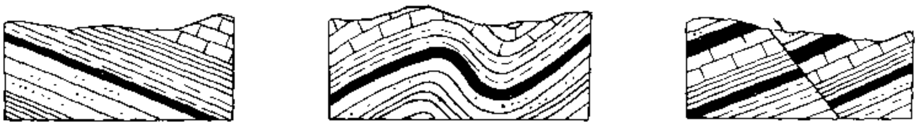
新生代形成不少经济价值巨大的矿产。除煤以外，外生矿产有铝土矿、盐类和砂矿，还有丰富的石油。我国辽阔的浅海区和邻近海域及台湾省，蕴藏着极其丰富的石油。我国西部和东部的一些内陆盆地的第三系也是重要的含油地层。内生矿产与喜山期侵人活动有关，在西藏、台湾、秦岭等地有铬、镍、金、铜、铅、锌等矿产。

第四章 地 质 构 造

煤层和其它岩层、岩体形成以后，由于受到地球内部和外部动力作用的影响，会发生一系列微观和宏观变化，产生诸如移位、倾斜、弯曲、断裂等地质现象。这些主要由地壳运动所引起的岩石变形变位现象在地壳中存在的形式和状态就称为地质构造。简称为构造，

地质构造的规模有大有小，大者可绵延数百千米乃至数千千米，小者可出现于手标本上，有的甚至需要借助显微镜才能观察得到。

地质构造的表现形式是多种多样的，有简单的，也有复杂的。就简单的而言，在一定



单斜构造　　褶皱构造　　断裂构造

图 4－1　构造形态的基本类型示意图

范围（一个井田或一个矿区）内，可归纳为单斜构造、褶皱构造和断裂构造三种基本类型（图 4－1）。其中单斜构造是指一系列岩层大致向同一个方向倾斜的构造形态，在较大的区域内，它往往是其它构造形态的一部分，如褶曲的一翼或断层的一盘（图 4－2）。因此，可以说自然界中地质构造的基本表现形式有褶皱构造和断裂构造两种。



图 4－2　单斜构造与褶曲、断层的关系示意图

第一节 岩 层 的 产 状

一、岩层产状的概念

地壳中广泛分布的沉积岩、层状火山岩及区域变质岩等层状岩石是构成地壳表层地质构造的主要物质基础。由同一岩性组成的基本均一的受两个平行或近于平行界面所限制的层状岩石称为岩层。岩层的上下界面叫层面；上层面叫顶面，下层面叫底面。两个岩层的接触面，既是上覆岩层的底面，又是下伏岩层的顶面。岩层顶、底面之间的垂直距离叫岩层的厚度。当岩层顶、底面平行时，岩层的厚度保持不变，称其为厚度稳定；当岩层的顶底面不平行时，岩层厚度有变化，称其为厚度不稳定。岩层厚度向某方向减小的现象称为岩层变薄；岩层厚度向某方向增大的现象称为岩层加厚；当岩层向某方向变薄直至消失时称为岩层尖灭；当岩层向两边都尖灭时则形成透镜状岩层。若某一岩层中夹有其它厚度不

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

大的不同岩性的岩层时，则称后者为前者的夹层；若岩层是由两种以上不同岩性的岩层交互重复构成时，则称其为互层。

岩层在空间的产出状态和方位称为岩层的产状。它反映了岩层在三维空间的存在方位和延展方向。在沉积盆地中形成的沉积岩，其原始产状大都是水平的，仅在盆地边缘等局部地段呈倾斜产状。已形成的岩（煤）层，在地壳运动的影响下，其原始产状会发生不同程度的改变。有的保持原有水平或近水平产状；有的呈直立甚至倒转产状；更多的是呈不同程度的倾斜产状。根据岩层的产状可将岩层划分为水平岩层、倾斜岩层、直立岩层和倒转岩层（图 4—3）。其中，倾斜岩层是最为常见的岩层，在一定范围内，它或独立存在为单斜构造，或为褶皱构造或断层构造的组成部分；而水平岩层、直立岩层和倒转岩层则较为少见。水平岩层主要呈现于一些大型沉积盆地中心部位的较新岩层；直立岩层和倒转岩层也仅出现在构造变动强烈的地区。因此，对倾斜岩层产状的研究是研究地质构造的基础。

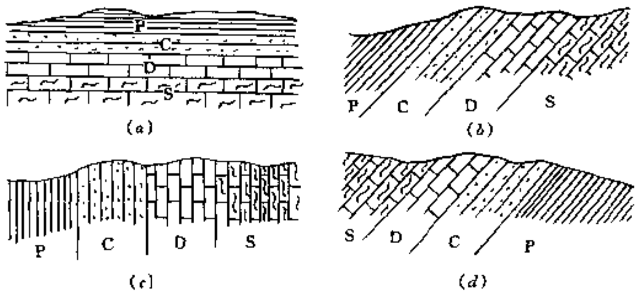


图 4—3　不同产状的岩层示意图

(a) 水平岩层；(b) 倾斜岩层；(c) 直立岩层；(d) 倒转岩层

P、C、D、S—地层代号

二、岩层产状要素

岩（煤）层的产状可用其层面在空间的方位及其与水平面的关系来确定。通常以岩（煤）层的走向、倾向和倾角（图 4—4）来表示，这 3 个用来说明岩层产状的参数就称为岩层的产状要素。

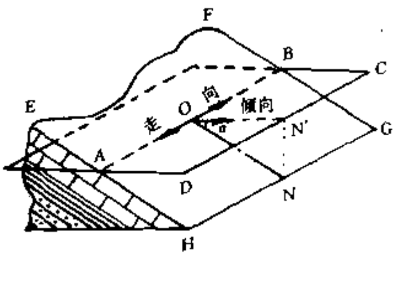


图 4—4　岩层的产状要素

ABCD—水平面；*EFGH*—岩层层面；

AOB—走向线；*ON*—倾斜线；

ON'—倾向线；α—（真）倾角

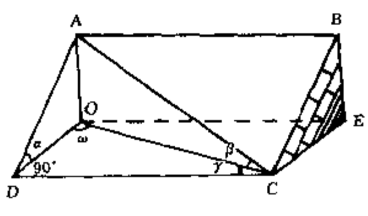


图 4—5　真倾角与视倾角的关系

ABCD—岩层层面；*OECD*—水平面；

AD—真倾斜线；*AC*—视倾斜线；α—真倾角；β—视倾角；ω—真倾向与视倾向夹角；γ—走向线与视倾向间的夹角

（一）走向

岩层走向是表示岩层在空间的水平延展方向。岩层面与任一个水平面的交线称为走向线（图 4－4 中 AOB）。可见，走向线是岩层面上任一标高的水平线，亦即同一岩层面上同标高点的连线。因此，一个基本平直倾斜的岩层面上可以有无数条近乎平行的走向线。当岩层面是平面时，其走向线为一组水平的直线；当岩层面是曲面时，其走向线就成为水平的曲线。

走向线两端的延伸方向称为走向。在一个测点上测得的岩层走向可以有两个方位，两者相差 180°。当走向线为直线时，说明岩层面上各点的走向不变；当走向线为曲线时，说明岩层面上各点的走向发生了改变。

（二）倾向

岩层倾向表示岩层向地下倾斜延伸的方向。在岩层面上过某一点（图 4－4 中 O；图4－5 中 A）沿岩层倾斜面向下（或向上）所引的直线（图 4－4 中 ON；图 4－5 中 AC 和 AD）称为倾斜线，倾斜线在水平面上的投影线（图 4－4 中 ON'；图 4－5 中 OC 和 OD）称为倾向线，倾向线所指的岩层向地下侧倾的一方称为该点岩层的倾向。走向与倾向相差 90°。水平岩层自然无走向和倾向可言；倾斜岩层和直立岩层的倾向指向较新岩层一方；倒转岩层的倾向则指向较老的岩层一方。

当倾斜线与岩层的走向线垂直时，称该倾斜线（图 4－4 中 ON；图 4－5 中 AD）为真倾斜线，相应的倾向线（图 4－4 中 ON'；图 4－5 中 OD）称为真倾向线，相应的倾向也称为真倾向（简称倾向）。当倾斜线与岩层的走向线斜交时，称倾斜线（图 4－5 中 AC）为视（假）倾斜线，相应的倾向线（图 4－5 中 OC）称为视（假）倾向线，相应的倾向称为视（假）倾向。可见，一点上岩层的真倾向是唯一的，而视（假）倾向则可以有无数个。

（三）倾角

岩层的倾角表示岩层的倾斜程度。它是指岩层层面与假想水平面的锐夹角，亦即倾斜线与其相应的倾向线的锐夹角。真倾斜线与真倾向线的锐夹角（图 4－4 中 α；图 4－5 中 α）称为真倾角。视倾斜线与其相应的视倾向线的锐夹角（图 4－5 中 β）称为视（假或伪）倾角。一点上岩层的真倾角是指该点岩层的最大倾角，其大小值是一定的，也是唯一的；而视倾角的值则随视倾向的改变而发生变化，它可以有无数多个，但都恒小于真倾角。真倾角和视倾角存在如下关系：

$$\left.\begin{array}{l}\mathrm{tg}\beta=\mathrm{tg}\alpha\cdot\cos\omega\\ \mathrm{tg}\beta=\mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\gamma\end{array}\right\}\qquad(4-1)$$

式中 β——视倾角；

α——真倾角；

ω——视倾向与真倾向之间的夹角；

γ——视倾向与岩层走向的夹角。

上述关系证明如下：

在图 4－5 中，$ABCD$ 代表岩层层面；$OECD$ 代表水平面；ADO 代表真倾向剖面；ACO 代表视倾向剖面。则

在$\triangle AOD$ 中，$\angle AOD=90°$，故 $\mathrm{tg}\alpha=\dfrac{AO}{DO}$；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

在$\triangle AOC$中，$\angle AOC=90°$，故 $\mathrm{tg}\beta=\frac{AO}{CO}$；

在$\triangle DOC$中，$\angle ODC=90°$，故 $\cos\omega=\frac{DO}{CO}$，$\sin\gamma=\frac{DO}{CO}$；

$\because$ $\mathrm{tg}\alpha\cdot\cos\omega=\frac{AO}{DO}\cdot\frac{DO}{CO}=\frac{AO}{CO}=\mathrm{tg}\beta$，

$\therefore$ $\mathrm{tg}\beta=\mathrm{tg}\alpha\cdot\cos\omega$。

同理 $\mathrm{tg}\beta=\mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\gamma$。

由上式可知，当剖面方向垂直于岩层走向时，$\omega=0°$，$\gamma=90°$，$\cos\omega=\sin\gamma=1$，则 $\mathrm{tg}\alpha=\mathrm{tg}\beta$，$\beta=\alpha$；当剖面方向平行于岩层走向时，$\omega=90°$，$\gamma=0°$，$\cos\omega=\sin\gamma=0$，则 $\mathrm{tg}\beta=0$，$\beta=0°$。也就是说，剖面方向越靠近岩层的真倾向，其视倾角越大；反之，剖面方向偏离真倾向越远，其相应的视倾角越小。

真倾角与视倾角的换算关系在煤矿生产设计中经常会用到。例如在煤层倾角较大的矿区，为了满足运输上的需要，有时沿煤层作伪上山。这时，就要根据已知的煤层倾角（α）和伪上山的设计坡角（β）来计算伪上山方向与煤层倾向或走向的夹角（ω或γ），以确定伪上山的起点位置和方向。在实际工作中，为了便于工作和提高工作效率，可从倾角换算表（表4－1）中直接查取所需参数。

三、产状的测定和表示方法

（一）岩层产状要素的测定方法

目前，在野外和井下测量岩（煤）层产状要素普遍使用的仪器仍然是地质罗盘（也叫矿山罗盘）。地质罗盘的种类很多、构造各异（图4－6），但它们都是以底盘、磁针和倾斜仪为主要部件而构成的。磁针静止时所指的方向为磁南和磁北，与地理上的南、北方向不完全一致，它们之间有一个偏离角，这个角称为磁偏角。各地区的磁偏角不同，均需根据当地磁偏角进行校正。如我国西部地区磁偏角偏东，校正时应加上磁偏角度数。为了校正磁倾角，常在磁针的一端缠扎有细铜丝圈以使磁针两端保持平衡。如我国地处北半球，磁针会向北倾，因此在磁针指南一端缠扎有细铜丝圈。底盘是一个平面，当水准器气泡居中时，底盘处于水平状态，其长边或标有南（S）、北（N）字样的连线与磁北的夹角，称为磁方位角，它可用磁北针在方位角刻度盘上所指的刻度值来表示。方位角刻度盘上标有东（E）、西（W）、南（S）、北（N）并刻有度数，有的罗盘分为四个象限，每个象限都刻为0°～90°，其中以南、北为0°，东、西为90°；有的罗盘以北为0°，逆时针方向分刻一周成360°，可用来测定岩层的走向和倾向。倾斜仪用来测定岩层的倾角，它有两种类型，一种是一端套在一个尖针中，另一端下垂呈或状，当把罗盘垂直侧放时它可在重力作用下摆动，静止时呈铅垂状，这时，就可在倾斜角度盘上读出罗盘倾斜角；另一种是手动倾斜仪，当把罗盘垂直侧放时，用手拨动罗盘背后的金属片使倾斜仪水准气泡居中，在倾角度盘上可读出罗盘倾斜角。

使用地质罗盘测定岩（煤）层产状要素的方法很多，但归纳起来不外乎直接测定法和间接测定法两类。

1. 直接测定法

在测量岩层产状之前，首先要找一个能代表周围一定范围内岩层产状的较为平整的岩层面，然后再用罗盘测量其产状要素，具体测量方法（图4－7a）如下：

表4—1 岩层倾角换算表

真倾角	岩层走向与剖面间的夹角							
	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°	45°
10°	9°51′	9°40′	9°24′	9°5′	8°41′	8°13′	7°41′	7°6′
15°	14°47′	14°31′	14°8′	13°39′	13°34′	12°28′	11°36′	10°4′
20°	19°43′	19°23′	18°53′	18°15′	17°30′	16°36′	15°35′	14°25′
25°	24°48′	24°15′	23°39′	22°55′	22°0′	20°54′	19°39′	18°15′
30°	29°37′	29°9′	28°29′	27°37′	26°34′	25°18′	23°51′	22°12′
35°	34°36′	34°4′	33°21′	32°24′	31°13′	29°50′	28°12′	26°20′
40°	59°4′	39°2′	38°15′	37°15′	36°0′	34°30′	32°44′	30°41′
45°	44°4′	44°1′	43°13′	42°11′	40°54′	39°19′	37°27′	35°16′
50°	49°34′	49°1′	48°14′	47°12′	45°54′	44°17′	42°23′	40°7′
55°	54°35′	54°4′	53°19′	52°18′	51°3′	49°29′	47°35′	45°17′
60°	59°37′	59°8′	58°26′	57°30′	56°19′	54°49′	53°0′	50°46′
65°	64°40′	64°14′	63°36′	62°46′	61°42′	60°21′	58°40′	56°36′
70°	69°43′	69°21′	68°49′	68°7′	67°12′	66°8′	64°35′	62°46′
75°	74°47′	74°30′	74°5′	73°32′	72°48′	71°53′	70°43′	69°14′
80°	79°51′	79°39′	79°22′	78°59′	78°29′	77°51′	77°2′	76°0′
85°	84°56′	84°50′	84°41′	84°29′	84°14′	83°54′	83°29′	82°57′
89°	88°59′	88°58′	88°56′	88°54′	88°51′	88°47′	88°42′	88°35′

真倾角	岩层走向与剖面间的夹角								
	40°	35°	30°	25°	20°	15°	10°	5°	1°
10°	6°28′	5°46′	5°2′	4°15′	3°27′	2°37′	1°45′	0°53′	0°10′
15°	9°46′	8°44′	7°38′	6°28′	5°14′	3°33′	2°40′	1°20′	0°16′
20°	13°10′	11°48′	10°19′	8°45′	7°6′	5°23′	3°37′	1°49′	0°22′
25°	16°41′	14°58′	13°7′	11°9′	9°3′	6°53′	4°37′	2°20′	0°28′
30°	20°21′	18°19′	16°6′	13°43′	11°10′	8°30′	5°44′	2°53′	0°35′
35°	24°14′	21°53′	19°18′	16°29′	13°28′	10°16′	6°56′	3°30′	0°42′
40°	28°20′	25°42′	22°45′	19°31′	16°0′	12°15′	8°17′	4°11′	0°50′
45°	32°44′	29°50′	26°33′	22°55′	18°53′	14°30′	9°51′	4°59′	1°0′
50°	37°27′	34°21′	30°47′	26°44′	22°11′	17°9′	11°41′	5°56′	1°11′
55°	42°33′	39°20′	35°32′	31°7′	26°2′	20°17′	13°55′	7°6′	1°26′
60°	48°4′	44°47′	40°54′	36°14′	30°29′	24°8′	16°44′	8°35′	1°44′
65°	54°2′	50°53′	46°59′	42°11′	36°15′	29°2′	20°25′	10°35′	2°9′
70°	60°29′	57°36′	53°57′	49°16′	43°13′	35°25′	25°30′	13°28′	2°45′
75°	67°22′	64°58′	61°49′	57°37′	51°55′	44°1′	32°57′	18°1′	3°44′
80°	74°40′	72°75′	70°34′	67°21′	62°43′	55°44′	44°33′	26°18′	5°31′
85°	82°15′	81°20′	80°5′	78°19′	75°39′	71°20′	63°15′	44°54′	11°17′
89°	88°27′	88°15′	88°0′	87°38′	87°5′	86°9′	84°15′	78°41′	44°15′

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

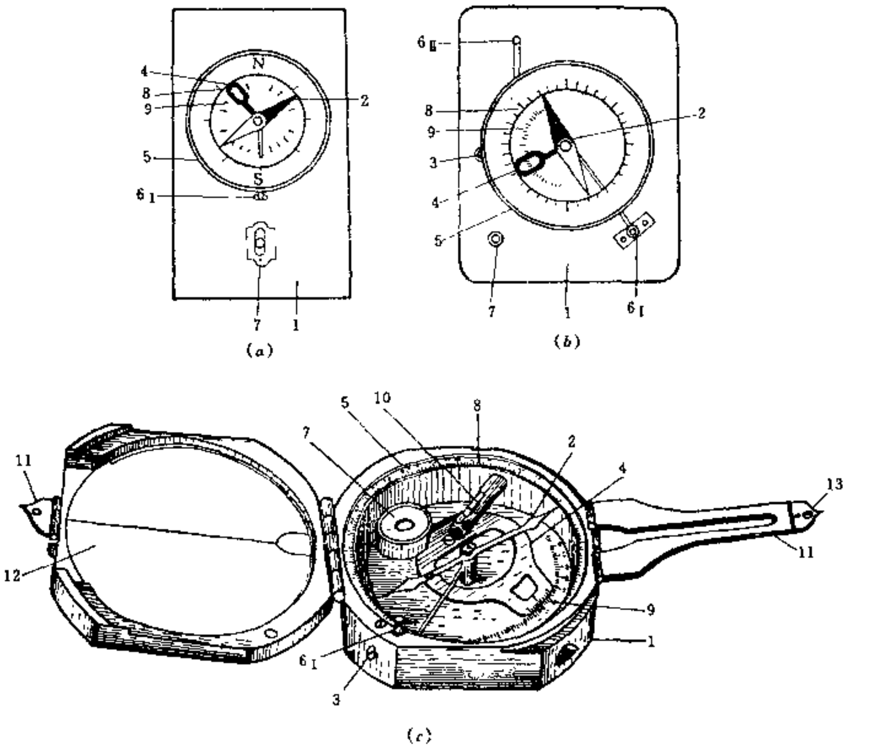


图 4-6 常见的几种地质罗盘构造

1—底盘；2—磁针；3—圆盘校正螺丝；4—倾斜仪；5—圆盘；$6_{Ⅱ}$—磁针制动器；$6_{Ⅰ}$—倾斜仪制动器；7—水准气泡；8—方位角刻度；9—倾斜角刻度；10—倾斜仪上水准气泡；11—折叠式瞄准器；12—玻璃镜；13—观测孔

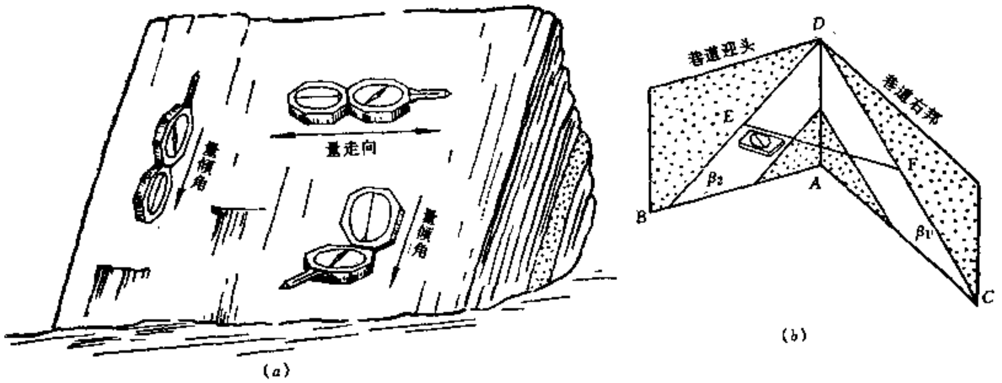


图 4-7 用罗盘测量岩层产状要素方法示意图

(1) 测岩层走向 把罗盘的长边紧贴岩层面并使罗盘长的水准气泡居中，待磁针静止后，读磁北（或南）针所指度盘上的刻度即得岩层的走向。因走向是向两个方向延长的，故

可测得两个相反的方向，二者相差180°。

(2) 测岩层倾向　把罗盘的短边紧贴于岩层面并使罗盘上的水准气泡居中，待磁针静止后，读磁北针所指度盘上的刻度即得岩层倾向。因走向和倾向互相垂直，故二者读数相差90°。

(3) 测岩层倾角　把罗盘长边紧贴岩层面上的倾斜线直立放置，拨动底盘背面的半圆形金属片使倾斜仪上的柱状水准气泡居中，读倾斜仪中间线所指的倾斜角度盘刻度数即得岩层倾角。有的罗盘利用垂锤测角，待垂锤处于铅直位置时读垂锤针所指倾斜角度数即得岩层倾角。

2. 间接测定法

有时在井下找不到理想的岩层面，难以直接测定岩层产状，这时可采用间接测定法。如图4－7b所示，BD、CD为巷道中实见的同一岩层层面，可在B、D间任意找一点E，并在C、D间找一F点使E、F两点的连线处于水平，用罗盘测出EF的方向即得该岩层的走向。岩层的倾向可根据岩层实际倾斜的方向利用岩层走向（即EF方向）加（或减）90°求得；倾角可利用下式计算得出：

$$\mathrm{tg}\alpha=\frac{\mathrm{tg}\beta_2}{\cos\omega} \qquad (4-2)$$

式中　α——岩层倾角；

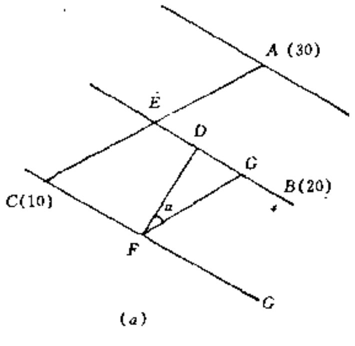
β_2——巷道迎头上岩层的视倾角，可用罗盘直接测得；

ω——巷道迎头岩壁方向与岩层倾向的夹角，巷道迎头岩壁方向可用罗盘测得。

利用这种方法测定的岩层产状较为精确，因此在煤矿生产中经常采用。

在井下用罗盘测定岩层产状时，应注意不要靠近带有磁性的金属物件（如金属支架等）和电缆等，以免因其吸引磁针而造成测量不准。

在实际工作中，有时因地形和岩层揭露情况等条件的限制或因岩层倾角很小而不能或不易用罗盘直接测定岩层产状，这时就需要用其它方法确定岩层产状。其中最基本和最常用的方法是三点法，这是一种利用同一岩层面上三个点的标高资料间接确定岩层产状的方法。这三个点必须符合下列条件：①同位于一个层面而又不在一条直线上；②坐标及标高均为已知；③三点之间岩层产状基本稳定。用三点法确定岩层产状的具体方法如图4－8a所示。



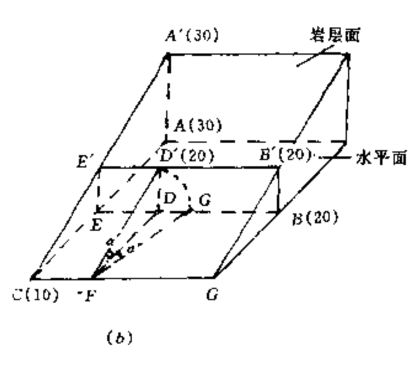


图4－8　三点法求岩层产状示意图

(a) 求取岩层产状平面图；(b) 求取岩层产状方法立体图解

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

以一定比例尺将三点 A、B、C 按其坐标投到平面图上，联结最高点 A 与最低点 C，用平行线法等分线段 AC 并从中找出与次高点 B 标高相同的点 E，过 E、B 两点作直线即为岩层过 B 点的走向线。过 C 点（或 A 点）作 BE 平行线，在 BE 上任选一点 D，过 D 点作走向线（BE 连线）的垂线交 BE 的平行线（CG）于 F 点，DF 则为倾向线，DF 方向为岩层倾向。以 D 为起点，在 BE 线上按比例截取 DG，使其等于 B、C 两点的高程差，联结 GF，∠DFG（α）即为岩层倾角。图 4－8b 为上述方法的立体图解。图中 A'E'CFB' 平面相当于岩层面；AECFB 平面相当于水平面（标高与 C 点相同）；E'B'、CF 为岩层面上的两条等高线，EB 为 E'B' 在水平面 AECFB 水平面上的投影；D'F 为倾斜线，DF 为 D'F 的水平投影线（即倾向线）。由于 DG＝D'D，则 ΔDGF≌ΔDD'F，故∠DFG＝∠D'FD，即∠DFG 等于岩层倾角。

（二）岩层产状要素的表示方法

1．文字记述法

常用于野外或井下记录、文字报告和剖面图中。文字记述法有象限角表示法和方位角表示法之分。

（1）象限角法　以地理子午线为基准线，走向线或倾角线与它所夹的锐角即为走向或倾向的象限角。东西、南北两直线相交，组成四个夹角各为 90°的象限。其中北东区为第Ⅰ象限；南东区为第Ⅱ象限；南西区为第Ⅲ象限；北西区为第Ⅳ象限（图 4－9a）。用象限表示法记述岩层走向时，除东西走向和南北走向外，一般只记述落入Ⅰ、Ⅳ象限（即北东和北西区）内的走向，而不记述相对应落入Ⅱ、Ⅲ（即南东和南西区）内的走向。如岩层走向为北偏东 30°和其对应的南偏西 30°，只记 N30°E 而不记录 S30°W。倾向可只记述方向，而不记述角度。如岩层倾向南东，倾角为 32°时，用象限角表示其产状可记述为 N30°E、SE∠32°（即走向、倾向倾角）或 N30°E/32°SE（即走向/倾角倾向）。由于倾向与走向垂直且方位唯一，已知倾向就可推算出走向。因此，一般情况下只需记述岩层的倾向和倾角，其记述方法为“倾向倾角”。故上述岩层产状一般记为 S60°E∠32°。

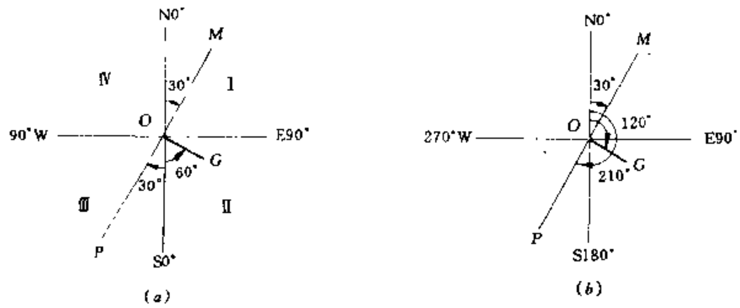


图 4－9　文字记述岩层产状要素方法示意图

(a) 象限角法；(b) 方位角法；MP—走向线；OG—倾向线

（2）方位角法　以地理正北（N）为起点（0°）顺时针旋转一周为 360°。岩层走向线或倾向线与地理子午线北端（正北方向）的顺时针夹角即为走向或倾向的方位角（图 4－9b）。具体记述方法各地尚不统一。仍以上述岩层产状为例，则全面记述岩层走向、倾向和倾角

的方式有 30°SE∠32°、N30°SE∠32°、NE30°SE∠32°等；只记述倾向和倾角的方式有 120°∠32°、N120°∠32°、SE120°∠32°等。

2. 符号表示法

在各种平面地质图上，岩层产状常以各种符号（图 4－10）表示在其相应的位置上。一般以长线代表岩层走向线，以短线（可带箭头）表示倾向线，短线右侧标注的度数为岩层倾角。



图 4－10 岩层产状符号示意图

（a）水平岩层；（b）倾斜岩层；（c）直立岩层；（d）倒转岩层

对于倾角小于 5°的岩层，可以近似地将其视为水平岩层，长、短两线交叉呈“十”字状，表示倾角为 0°，既无走向，亦无倾向；直立岩层产状符号的短线指向新岩层一方；倒转岩层产状符号中的短线呈弯曲状，曲线所在的长线一侧指向新岩层，而短线指向岩层倾向（即老岩层一方）。

第二节 褶 皱 构 造

一、褶皱构造的概念

（一）褶皱与褶曲

由于地壳运动等地质作用的影响，使岩层发生塑性变形而形成一系列波状弯曲但仍保持着岩层的连续完整性的构造形态，称为褶皱构造（图 4—11），简称为褶皱。

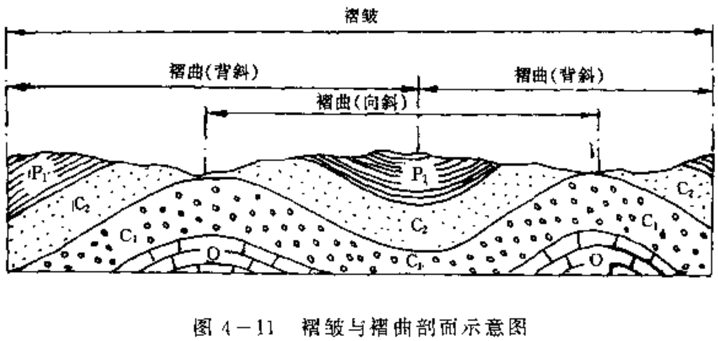


图 4－11 褶皱与褶曲剖面示意图

褶皱构造在地壳中分布广泛，形态多样，规模大小相差十分悬殊，大者可达数十千米乃至数百千米，小者可显露于手标本上，有的甚至需要借助于显微镜才能观察得到。褶皱的规模大小在一定程度上反映了其形成时的地质作用强弱和方式。大多数褶皱构造是由地

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

壳运动产生的构造挤压应力作用形成的，所以，常把造成褶皱构造的地壳运动称为褶皱运动；而把由褶皱运动使地壳发生的褶皱变形称为褶皱变动。

褶皱构造中的一个弯曲称为褶曲。可见，褶曲是褶皱的基本单位，而褶皱则是由一系列褶曲组合而成的。

（二）褶曲的基本形式

褶曲的基本形式可分为背斜和向斜两种。背斜是指核心部位岩层较老，向两侧依次对称出现较新岩层的形态一般向上弯曲的褶曲；向斜是指核心部位岩层较新，向两侧依次对称出现较老岩层的形态一般向下弯曲的褶曲。

在岩层新、老顺序不清的情况下，如某些变质岩层、沉积岩地层分布地区，则把向上弯曲的岩层称为背形，把向下弯曲的岩层称为向形。正常情况下，背斜呈背形，向斜呈向形。若褶皱构造极为复杂，地层发生倒转，造成背形的核心部位是新岩层时，称为背形向斜（图 4—12*a*）；向形的核心部位是老岩层，称为向形背斜（图 4—12*b*）。

（三）褶曲要素

褶曲的形态是多种多样的，为了研究和描述其空间形态特征，通常把褶曲的各个组成部分及其几何关系要素分别命名，并统称为褶曲要素（图 4—13）。矿产地质中常用的褶曲要素有以下几种：

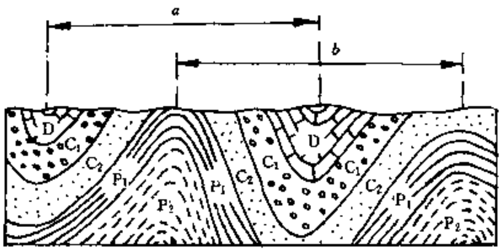


图 4—12　背形向斜和向形背斜示意图

（*a*）背形向斜；（*b*）向形背斜

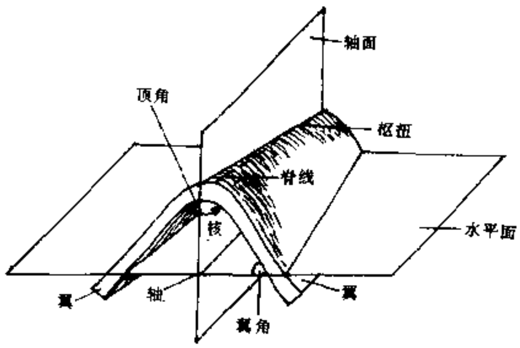


图 4—13　褶曲要素示意图

（1）核部　泛指褶曲的中心部位。背斜核部是较老的岩层，向斜核部是较新的岩层。对同一褶曲而言，核部的地层层位并不是固定的，它随剥蚀、出露程度或观察研究的范围不同而有所改变。

（2）翼部　泛指核部两侧比较平直的岩层。背斜两翼较核部岩层新，向斜两翼较核部岩层老。相邻的背、向斜之间的翼部为两者所共有。

（3）翼角　指两翼岩层与水平面的夹角，即翼部岩层的倾角。

（4）转折端　指褶曲一翼转到另一翼的过渡弯曲部分，即两翼岩层汇合部分。常见的转折端的形态有圆滑状、尖棱状及平缓状等。

（5）顶角　也称翼间角。它是指褶曲两翼同一岩层之间的夹角。若褶曲的转折端为圆滑或平缓状时，即为两翼切面的夹角。

(6) 枢纽　指褶曲中同一岩层面上最大弯曲点的连线。它是褶曲一翼与另一翼的分界线。同一褶曲中每一个岩层面上都有一条枢纽。枢纽可以是一条直线，也可以是一条曲线，其产出状态有水平的、倾斜的、直立的或波状起伏的等。枢纽反映了褶曲在延长方向上的产状变化。

(7) 轴面　指平分顶角的面，它是同一褶曲中所有枢纽组成的面。其形态可以是一个简单的平面，也可以是一个复杂的曲面。轴面在空间的产出状态有直立的、倾斜的，也有水平的。

(8) 轴、轴迹　轴也称轴线。它是指轴面与水平面的交线。它永远是一条水平线。如果轴面是一个简单的平面，则它是一条水平直线；如果轴面是一个复杂的曲面，则它是一条水平的曲线。它的延长方向称为轴向，代表褶曲的延展方向；它的长度代表褶曲的延伸长度。轴面与地表面的交线称为轴迹。轴迹的形状不仅与轴面形状有关，而且也受地形控制，其延伸方向能大致表示褶曲的延展方向。

(9) 脊线和槽线　在横剖面上褶皱面的最高点称为脊，同一褶皱面上脊的连线称为脊线；反之，褶皱面在横剖面上的最低点称为槽，同一褶皱面上槽的连线称为槽线。

二、褶曲分类

褶曲的分类方法很多，其中最主要和最常用的是形态分类。褶曲最基本的形态是背斜和向斜。然而，在自然界中，背斜和向斜的形态又是千姿百态的，采用任何一种形态分类方案都很难包容褶曲的所有产出形态。因此，便产生了不同的褶曲分类方法。在矿井构造分析中常用的是褶曲横剖面、纵剖面和平面的形态分类。

(一) 褶曲的横剖面形态分类

实际工作中，最常用的是根据褶曲的轴面和两翼岩层产状进行分类，具体可分为：

(1) 直立褶曲　亦称对称褶曲。它的轴面直立，两翼岩层层序正常，倾向相反，倾角相等（图 4－14*a*）。可分为直立背斜和直立向斜。

(2) 斜歪褶曲　亦称不对称褶曲。其轴面倾斜，两翼岩层层序正常，倾向相反，倾角不等（图 4－14*b*）。可分为斜歪背斜和斜歪向斜。

(3) 倒转褶曲　亦称同斜褶曲。其轴面倾斜，两翼岩层倾向相同，一翼岩层层序正常，

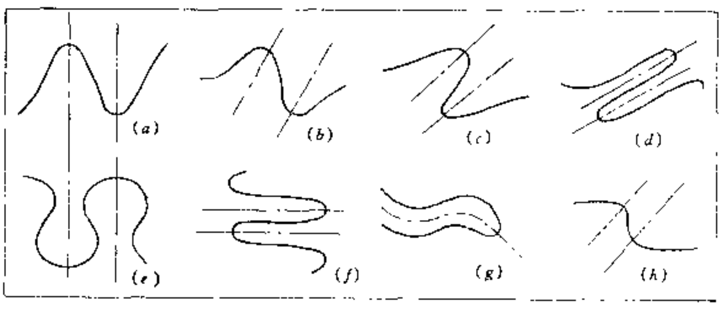


图 4－14　褶曲横剖面分类示意图

(*a*) 直立褶曲；(*b*) 斜歪褶曲；(*c*)、(*d*) 倒转褶曲；(*e*) 扇形褶曲；(*f*)、(*g*) 平卧褶曲；(*h*) 挠曲

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

另一翼岩层层序倒转，两翼角可以不等或相等（图 4—14*c*、*d*），相等者则称为等斜褶曲（图 4—14*d*）。可分为倒转背斜和倒转向斜。

（4）扇形褶曲　轴面直立或倾斜，两翼岩层层序都倒转，两翼角可以相等或不等，剖面上岩层整体呈扇形（图 4—14*e*）。它可分为扇形背斜和扇形向斜。

（5）平卧褶曲　轴面近于水平，两翼岩层产状平缓，一翼岩层层序正常，另一翼岩层层序倒转（图 4—14*f*）。如果平卧褶曲的轴面发生弯曲，则称为翻卷褶曲（图 4—14*g*）。

（6）挠曲　在水平或缓倾斜岩层中，某段岩层倾角突然增大而形成的膝状弯曲（图 4—14*h*）。

（二）褶曲的纵剖面形态分类

在纵剖面上，可根据褶曲枢纽的产状将其分为：

（1）水平褶曲　褶曲枢纽近于水平，整个褶曲沿着水平方向延伸，两翼岩层的走向大致平行（图 4—15*a*）。可分为水平背斜和水平向斜。

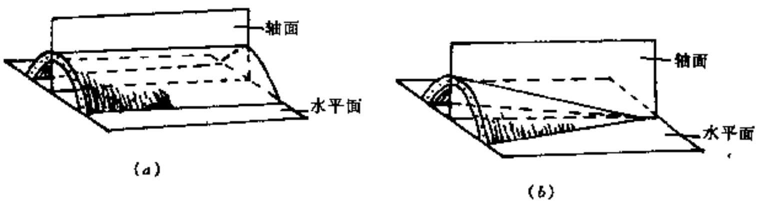


图 4—15　褶曲的纵剖面分类示意图

（*a*）水平褶曲；（*b*）倾伏褶曲

（2）倾伏褶曲　褶曲枢纽呈倾斜状，整个褶曲向一定方向倾伏，两翼岩层走向向褶曲倾伏方向斜交（图 4—15*b*）。可分为倾伏背斜和倾伏向斜。

（三）褶曲的平面形态分类

在水平面上，可根据褶曲的延伸长度和褶曲中同一岩层界限的长、宽比将褶曲分为：

（1）线形褶曲　褶曲沿一定方向延伸很远，褶曲同一岩层的界限长与宽之比大于 10：1（图 4—16*a*）。可分为线形背斜和线形向斜。

（2）短轴褶曲　褶曲向两端延伸不远即倾伏消失，褶曲同一岩层界限的长与宽之比为 10：1～3：1（图 4—16*b*）。可分为短轴背斜和短轴向斜。

（3）近等轴褶曲　褶曲无定向的枢纽、轴面和轴线，同一岩层界限的长与宽之比小于 3：1。也可分为近等轴背斜和近等轴向斜。前者一般称为穹窿（图 4—16*c*）；后者则称为构造盆地或盆形构造（图 4—16*d*）。

（四）剖面上褶曲组合形态分类

（1）复背斜和复向斜　指规模较大的两翼被次一级的褶曲所复杂化的背斜和向斜。次一级的褶曲轴面，一般都向复背斜和复向斜的中心部位收敛，在复背斜中呈扇形（图 4—17*a*），在复向斜中呈倒扇形（图 4—17*b*）。复背斜和复向斜是岩层遭受强烈挤压作用的结果，在我国的秦岭、天山、喜马拉雅山以及欧洲的阿尔卑斯山、美洲的阿巴拉契亚山等构造挤压作用强烈的地区都形成有大型的复背斜和复向斜。

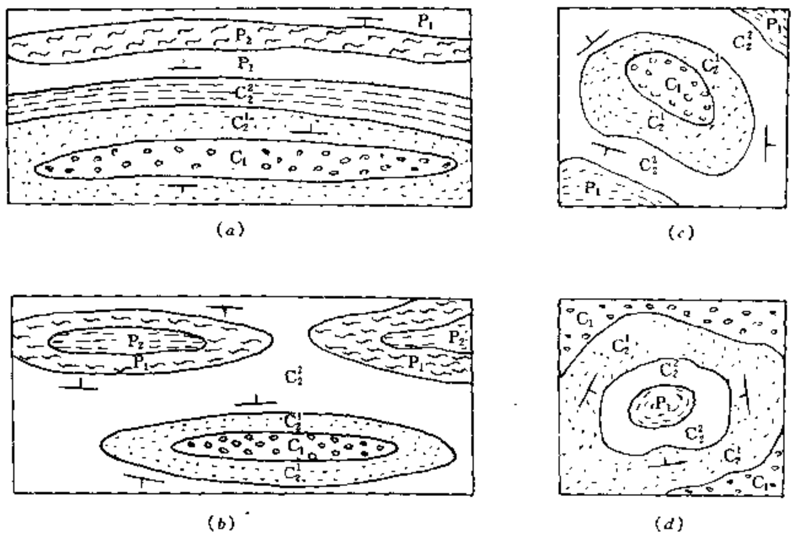


图 4－16　褶曲的平面分类示意图

(*a*) 线形背斜；(*b*) 短轴向斜；(*c*) 穹窿；(*d*) 构造盆地

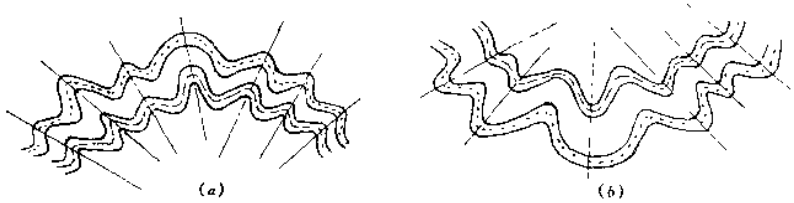


图 4－17　复背斜和复向斜剖面示意图

(*a*) 复背斜；(*b*) 复向斜

(2) 隔档式和隔槽式褶皱　指一系列平行排列的背斜和向斜发育程度不等的褶曲的剖面组合形式。背斜紧闭狭窄而向斜开阔者称为隔档式褶皱（图 4－18*a*），也称梳状褶皱；背斜开阔而向斜紧闭狭窄者称为隔槽式褶皱（图 4－18*b*）。它们是盖层受基底断裂构造影响而形成的褶皱形态。

(3)同斜褶皱　由一系列发育程度基本相同的轴面近于平行的褶曲组成（图 4－19）。它是岩层在强烈的水平运动作用下向一个方向推挤而形成的一种褶皱形态。

(五) 平面上褶曲的组合形态分类

(1) 平行褶皱　由一系列轴迹基本平行的褶曲所组成。褶曲一般较为紧闭，两翼陡立、甚至倒转或平卧，在水平方向上延伸较远，总体呈现为水平线形褶曲；背斜和向斜常相间排列（图 4－20*a*）。这种褶皱往往是由区域性水平强烈挤压作用形成的。

(2) 雁行褶皱　又称为斜列式褶皱。它是由一系列短轴褶曲呈平行斜列组合而成的雁

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

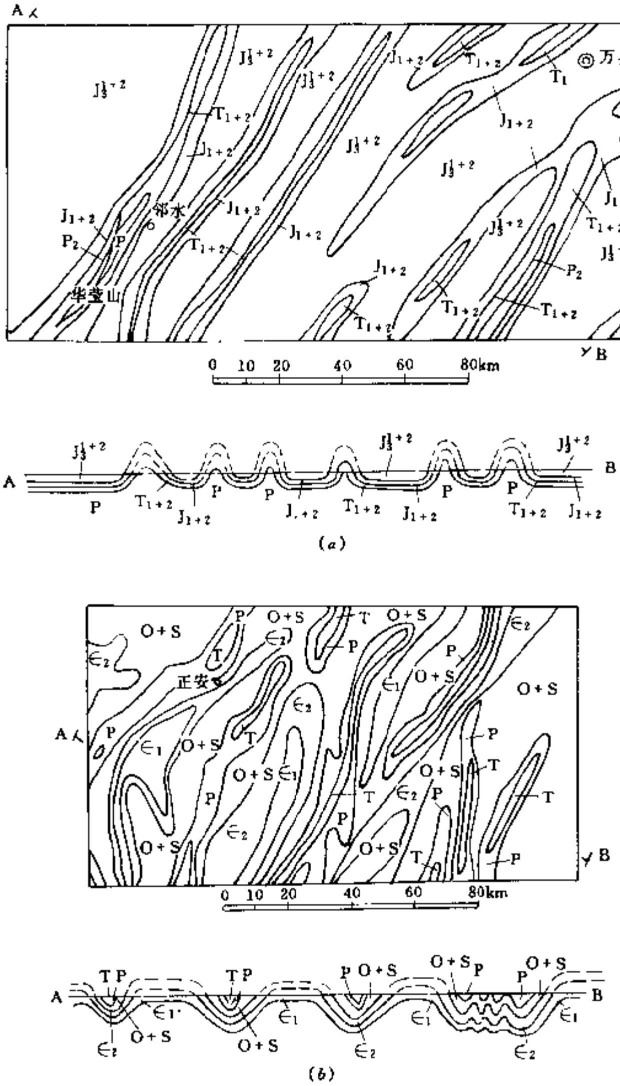


图 1—18 隔挡式和隔槽式褶皱

(a) 四川盆地东部隔挡式褶皱；(b) 贵州正安及以东地区隔槽式褶皱

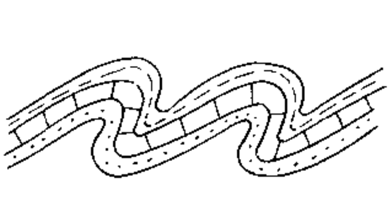


图 4－19 同斜褶皱剖面示意图

行状褶曲组合形态（图 4—20*b*）。其中的褶曲可以都是背斜或向斜，也可以是背斜与向斜相间斜列。褶曲的这一组合型式一般认为是由于区域性的水平力偶作用形成的。

（3）帚状褶皱 由一系列轴迹呈帚状（或放射状）排列的褶曲所组成。这种褶皱向一端收敛，向另一端撒开；常是背斜和向斜相间排列（图 4—20*c*）。它

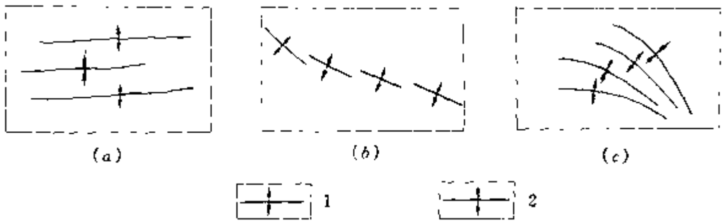


图 4－20′ 褶曲平面组合形态类型图

(*a*) 平行褶皱；(*b*) 雁行褶皱；(*c*) 帚状褶皱

1－背斜轴迹；2－向斜轴迹

们一般被认为是在水平压扭作用下形成的。

三、褶皱构造的观测与研究

（一）褶皱存在的识别

自然界中有一部分褶皱，可以在有限的地段内（如地表露头和矿井巷道或工作面上）直接看到，但更多的揭露不完全的一些大中型褶皱在较小范围内是难以看出来的，这就需要根据地层产状和分布规律来确定其存在。

一般来说，褶皱存在的最基本标志是新老地层依次对称重复出露。因此，了解和掌握工作区（矿区或矿井）的地层层序、岩性、厚度及其变化和地层的接触关系是研究褶皱和各类地质构造的基础。在判别是否有褶皱存在时，应首先根据古生物化石、岩性、岩石的原生构造以及次生小构造（如层间小褶皱等）确定地层层序，然后可横穿地层走向进行观察。若发现地层有对称重复现象，则可初步判定有褶皱构造存在；但尚不能做出最后结论。这是因为，在水平岩层和倾斜岩层地区，由于地形切割也会在地表上形成新老岩层依次对称重复出露现象，故必须结合岩层产状及地形起伏状况加以综合分析判断。在水平岩层分布地区，较老的岩层一定出露于地形较低处，最新的岩层必然分布于地形最高处（图 4－21*a*）；在单斜岩层分布区，岩层的出露特征及新老岩层的对称重复，则严格受地形和岩层产状及其二者的相互关系共同控制，且岩层露头（岩层裸露地表而未被其它岩层覆盖的部分）的延展方向与岩层的走向斜交或直交（图 4－21*b*）；对于褶曲来讲，新老岩层露头呈条带状对称重复展布则与地形起伏无关，其延展方向总体与岩层走向一致（图 4－21*c*）。

（二）褶皱形态的研究

褶皱形态是用褶曲要素加以描述和确定的，因此，褶皱形态的研究实质上是对各褶曲要素的分析研究。首先根据已查明的地层层序和岩层产状及其变化确定褶曲存在位置和基本型式；然后系统测定褶曲的枢纽、两翼和轴面等要素的产状；在此基础上根据有关褶曲要素的特征和空间分布特征确定褶曲的类型及其组合类型。对于规模不大、保存较为完好且出（揭）露充分的褶曲，可在野外或井下直接测量其有关要素的产状，实地观测其形态特征；但对于规模较大、保存或出（揭）露不完全的褶曲来说，则往往需要系统测量岩层和枢纽的产状，根据地层露头分布规律、岩层产状变化规律、褶曲内部小构造的发育特征等综合分析确定褶皱构造的形态。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

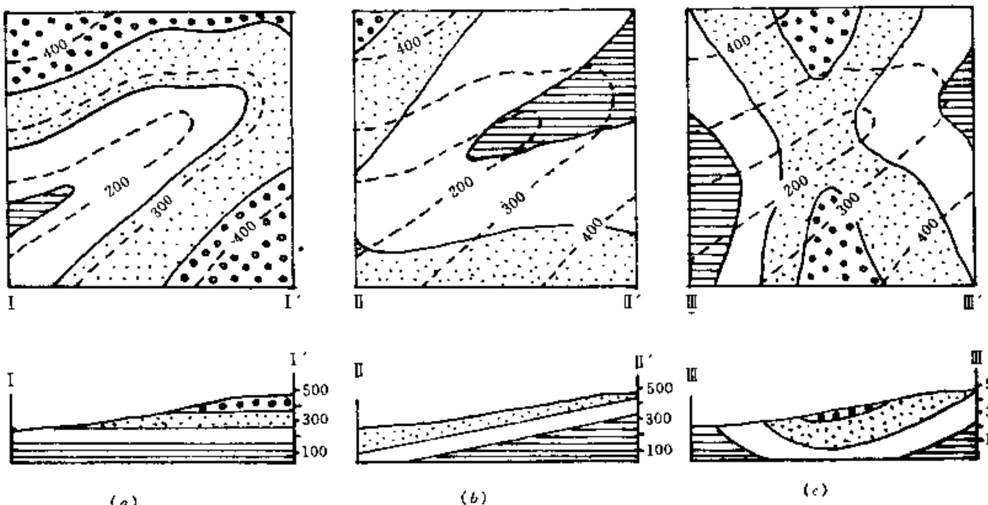


图4 21 褶曲与水平和倾斜岩层露头分布的区别示意图

(a) 水平岩层；(b) 倾斜岩层；(c) 褶曲（向斜）

（三）褶曲内部小构造的观测研究

在褶曲形成过程中，会伴生或派生出许多次级小构造，如小褶皱、小断层、层间滑动擦痕、劈理等。这些小构造都有规律地发育于主褶曲的一定部位，与主褶曲存在一定的力学和几何关系，从不同侧面反映着主褶曲的某些特征。因此，研究褶曲内部的小构造是全面认识主褶曲必不可少的组成部分。下面仅介绍有助于判别主褶曲形态的派生小构造。

1. 层间擦痕

层间擦痕是褶曲形成过程中岩层与岩层之间相对滑动、互相摩擦所留下的痕迹。它可以发育在褶曲的两翼或转折端等处。当褶曲枢纽水平时，翼部的擦痕方向与枢纽（或岩层走向）近于垂直；当枢纽倾伏时，擦痕方向则与枢纽斜交或近于平行。

2. 小褶皱

小褶皱亦称为拖拉褶皱。它是一种不对称的层间小褶皱，多发育于两层坚硬岩层之间的软岩层中，是在主褶曲形成过程中，由于形成褶曲的一系列相邻岩层中的上部岩层相对向上（背斜转折端）滑动，而下部岩层相对向下滑动所产生的力偶作用下形成的（图4—22）。主要发育于主褶曲的翼部，其轴线与主褶曲轴近于平行；轴面与岩层面斜交，二者的锐夹角指向相邻岩层相对滑动方向。由此可见，相对向上滑动的是新岩层，向下滑动的是老岩层；新岩层的滑动方向常指向背斜的转折端，老岩层的滑动方向则常指向向斜的轴部；小褶曲轴面倾角大于岩层倾角者岩层层序正常，小褶曲轴面倾角小于岩层倾角者岩层倒转。根据上述规律即可判定背斜和向斜的位置，恢复褶皱形态（图4—23）。

3. 破劈理

岩石受力后，在最大剪切面方向产生的微细面密集的裂缝叫破劈理。褶曲两翼的劈理面与褶曲轴面平行，或以轴面为对称面而对称分布；劈理面与岩层面所夹锐角指向相邻岩

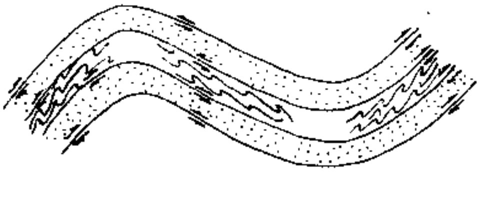


图 4—22 层间小褶皱示意图
（图中箭头表示顺层滑动方向）

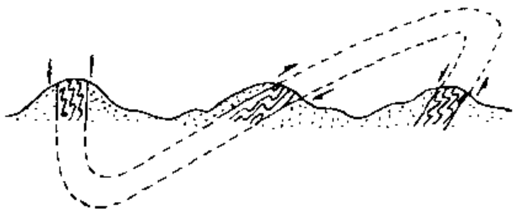


图 4—23 利用层间小褶皱确定主褶曲形态示意图

层的运动方向。一般来说，向上滑动的是岩层的顶面，向下滑动的是岩层的底面。因此可进一步推导得出如下结论：劈理与岩层向上的锐夹角指示相邻岩层向背斜顶部运动；若岩层倾向与劈理倾向相反（图 4—24*a*），或二者倾向相同但岩层倾角小于劈理倾角（图 4—24*b*），则岩层层序正常。若二者倾向一致而岩层倾角大于劈理倾角时，则岩层层序应是倒转的（图 4—24*c*）。据此可判定背斜和向斜的相应位置及某些形态特征。

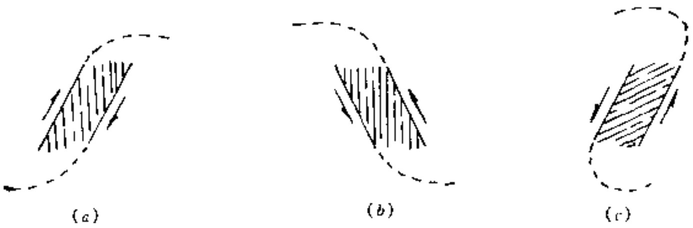


图 4—24 利用劈理确定岩层层序和褶曲位置示意图
（*a*）层序正常，背斜在右；（*b*）层序正常，背斜在左；（*c*）层序倒转，背斜在左

（四）褶皱形成时代的确定

褶皱是构造运动的结果，所以褶皱形成时代与同期构造运动是相联系的。一般通过区域性角度不整合来确定褶皱形成的时间范围。原始水平岩层在构造应力的作用下发生弯曲，形成褶皱，同时伴随着地壳的上升运动。进入相对稳定时期，褶皱地层接受风化剥蚀，形成风化剥蚀面；若地壳重新下降，就会在风化剥蚀面上沉积新的水平岩层，从而形成了岩层的角度不整合。显然，褶皱的形成时代在最新褶皱岩层（即不整合面下伏最新褶皱岩层）沉积之后和不整合面上覆最老岩层沉积之前。同一期形成的褶皱构造系统的排列组合往往有一定规律，可以用统一的构造应力场来解释。

第三节 断 裂 构 造

组成地壳的岩层或岩体受力后不仅会发生塑性形变形成褶皱构造，而且也可在所受应力达到或超过岩石的强度极限时发生脆性形变形成大小不一的破裂和错动，使岩石的连续完整性遭到破坏，这种岩石脆性形变的产物总称为断裂构造。断裂构造可分为节理和断层两类。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

一、节理

节理是断裂面两侧岩石没有发生明显位移的断裂。它可以是明显可见的张开或闭合的裂缝、裂隙，也可以是肉眼不易觉察的隐蔽的裂纹，当岩石风化或受打击后，岩石才会沿这些裂纹裂开。节理的延伸长度有大有小，短者几厘米，长者几十米甚至更长。节理发育的密集程度也差异很大，相邻两节理的距离可从数厘米到数米。节理的断裂面称为节理面，节理的产状可用节理面的产状要素加以描述和说明。

（一）节理的分类

1. 节理的成因分类

根据节理的成因不同，可将节理分为原生节理和次生节理。次生节理又可进一步划分为构造节理和非构造节理。

1）原生节理

原生节理是指在沉积作用或岩浆活动以及成岩过程中形成的节理。例如，在沉积岩形成过程中，泥质和粉砂质等细粒沉积物因缩水而形成的泥裂；基性岩浆在冷凝过程中因体积收缩而形成的玄武岩柱状节理；成煤过程中凝胶化物质因脱水、压固、体积均匀收缩而产生内张力所形成的内生裂隙等均属此种节理。这类节理的共同特点是局限于某种岩性中。

2）次生节理

次生节理指岩层形成以后生成的裂隙。根据力的来源和作用性质不同，分为构造节理和非构造节理。

（1）构造节理　指由地壳运动所产生的构造应力作用形成的裂隙。这种节理分布十分广泛，在各种煤、岩层中都能经常见到，且具有明显的规律性，与褶皱、断层等构造具有密切的成因联系和空间组合关系。

（2）非构造节理　指由外力地质作用或人为因素形成的节理。如风化、滑坡、崩塌、岩溶塌陷、冰川活动及人工爆破等所形成的节理。其中最常见和分布最为广泛的是风化节理。风化节理的特点是排列不规则，常发育于地表附近，随深度增加发育程度减弱，节理密度减小，到一定深度后即完全消失。

2. 节理的产状分类

根据节理产状与岩层产状的关系，可将节理分为四种（图4—25）。

（1）走向节理　节理走向与岩层走向大致平行。

（2）倾向节理　节理走向与岩层走向大致垂直，即与岩层倾向大致平行。

（3）斜向节理　节理走向与岩层走向斜交。

（4）顺层节理　节理面与岩层层面大致平行。

3. 节理的力学性质分类

根据节理的力学成因可把节理分为张节理和剪节理两种。

（1）张节理　由张应力作用形成，节理面大致垂直于最大张应力方向。它既可以在广大面积上发育，也可以分布于局部地区。区域性的张节理通常是直立的或近于直立的，且规模较大；局部性张节理则分布于其它地质构造类型的一定部位。如在褶曲核部坚硬岩层的转折端和枢纽急剧倾伏部位，张应力集中，常形成楔形张节理（图4—26），这些张节理往往呈两组出现，一组与褶曲轴平行或近于平行，称为纵张节理；另一组与褶曲轴垂直或近于垂直，称之为横张节理。在断层附近，也会因力偶作用形成羽状张节理（图4—27）。

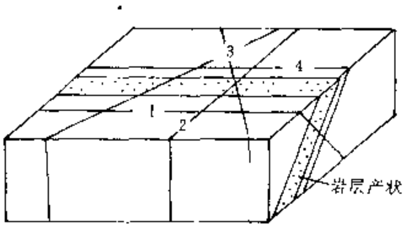


图 4－25 节理的产状分类示意图

1 走向节理；2－倾向节理；

3—斜向节理；4—顺层节理

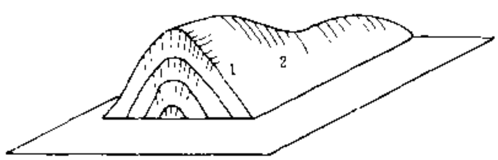


图 4－26 由于褶皱产生的张节理示意图

1—纵张节理；2—横张节理

张节理产状不稳定；延伸不远，分枝合并现象较为常见，一组节理常侧列产出；尾端形式多样、多级分叉；多数节理是张开的，呈楔形，常被矿脉充填；节理面粗糙不平，无擦痕；在砾岩或砂岩中，张节理常绕过砾石或粗砂粒，从而形成凹凸不平的节理面（图 4－28）。

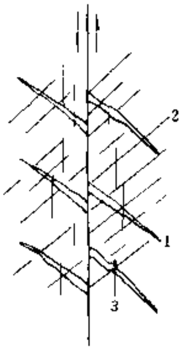


图 4－27 由于断层产生的羽状节理示意图

1—羽状张节理；2、3—羽状剪节理



图 4－28 张节理和剪节理在砾岩中的表现示意图

1－张节理；2—剪节理

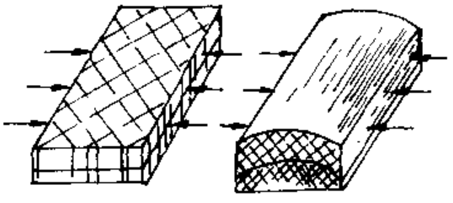
（2）剪节理 由剪应力作用而形成，节理面与最大剪应力方向一致。常成对出现，称之为共轭剪节理，构成共轭“X”型节理系（图 4－29）。这种节理系广泛发育于褶皱岩层中。在岩层尚未弯曲形成褶皱之前所形成的剪节理在平面上构成斜向“X”节理系；岩层弯曲形成褶皱时所产生的剪节理则在剖面上构成“X”节理系。通常这两组节理的发育程度是不等的。剪节理也会发生于断层附近，形成两组羽状剪节理（图 4－27），其中一组平行于断层面，另一组则与断层面斜交。

剪节理产状较为稳定，沿走向和倾向延伸较远，具有明显尖灭侧现特征，常呈雁行排列，多条平行节理往往等距分布。节理紧闭，节理面光滑平直，有时有滑动擦痕，在砾岩或砂岩中能切穿砾石和砂粒（图 4－28）。

（二）节理的观测与研究

研究节理，首先要在野外或井下进行直接观测和收集资料，在此基础上，再在室内进行资料的整理和综合分析，编制有关图件、分析古应力场，解决有关生产实际问题。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



(a)　　　　　　(b)

图4—29　"X"型节理系的形成示意图
(a) 岩层褶皱前形成的"X"节理系；
(b) 岩层褶皱时形成的"X"节理系

1. 节理的现场观测

在野外或井下等现场观测节理时，一般需按下列步骤进行：

1) 选择观测点

应根据研究节理的目的和任务，选择适当的构造部位，建立观测点。如研究节理与褶皱的关系，就应当在各褶曲的核部、翼部、倾伏端等部位布点；研究断层发育特点，可沿断层及其两侧布点；研究区域构造特点，可按一定要求均匀布点；了解水文地质特征，可在含水层及其顶、底板岩层中布点。为了便于对比，观测点最好选择在一定层位和一定岩性的岩层或岩体中。但若专门研究节理在不同岩层或岩体中的发育情况，可有意识地在不同层位和不同岩性的岩层或岩体中布点。观测点一定要选在有代表性的节理发育区域，且要求岩层出露良好。

观测点的观测面积一般为数平方米至数十平方米，最小不少于一平方米，以保证有几十条节理可供观测。

2) 观测节理

在节理观测点上除了进行地质背景等一般地质预测外，重点是对节理发育特征及其特征参数的观测与统计。应详细观测节理面的光滑平整程度、擦痕发育情况、节理的张开与闭合程度、充填特征、节理长度等，确定节理的力学性质；按节理的力学性质及产状分组测量或对所有节理逐一测量其产状；分组统计节理发育的密集程度。常用的统计指标有：

(1) 节理密度　也称节理频率或线密度。它是指垂直于某组节理走向单位距离内节理的条数，单位：条/m。

(2) 节理缝隙度　指垂直于某组节理走向单位距离内节理缝隙的总宽度。可用下式计算统计：

$$g=ut \quad 或 \quad g=\sum_{i=1}^{u} b_i \tag{4-3}$$

式中　g——节理缝隙度，m/m；

u——垂直节理走向单位距离内的节理数目，条；

t——节理缝隙的平均宽度，m/条；

b_i——某一节理缝隙的宽度，m。

(3) 裂隙率　也称节理(裂隙)面密度。指节理缝隙面积占观测统计面积的百分比。可用下式统计计算：

$$K=\frac{\sum_{i=1}^{u} L_i b_i}{F}\times 100\% \tag{4-4}$$

式中　K——裂隙率，%；

L_i——某一节理落入统计面积内的长度，m；

F——观测统计面积，m^2。

3）确定节理的形成顺序和节理系

根据节理的交切和错动关系，可以确定节理的形成顺序。先形成的节理被后形成的节理所错开，若两组节理彼此相互错开，说明它们是同期形成的。当出现两组以上节理时，要注意寻找共轭剪节理并测量共轭节理的夹角、错动方向等，以建立节理系和对节理进行配套分期。

4）描述、记录节理特征

对每一个观测点上的节理可参照表4—2所列内容逐项进行记录。

表4-2 节理观测记录表

观测点号及位置	所在褶皱或断层部位	所在岩层的时代、层位、岩性及产状	节理产状	节理面及充填特征	节理的力学性质	节理的形态特征及伴生构造特征	节理密集程度	备注

2. 节理观测资料的整理分析

对从各观测点获得的节理实测资料要及时地分组、分期、分性质分别予以整理统计，并结合其与其它构造的关系进行配套。在此基础上根据研究的目的和要求编制出相应的节理图件，简明、清晰地反映节理的发育规律，阐明节理与其它地质构造的关系，探讨古构造应力场和解决生产实际问题。

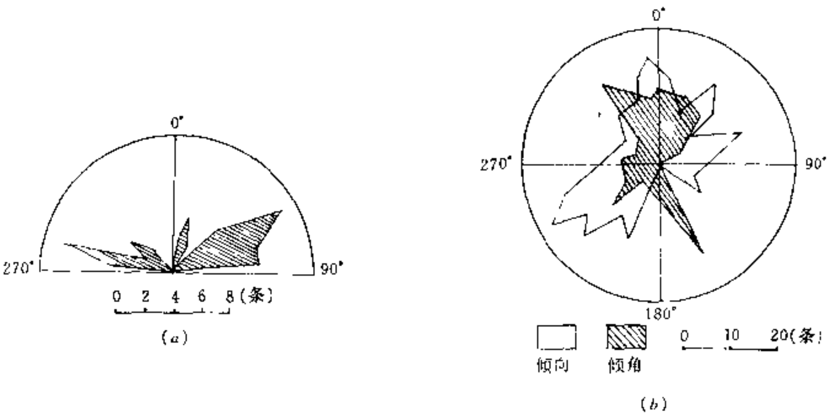


图4-30 节理玫瑰花图

(a) 走向玫瑰花图；(b) 倾斜玫瑰花图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

节理的主要图件有节理玫瑰花图、节理极点图和节理等密度图。其中最常用的是节理玫瑰花图，它又可分为节理走向玫瑰花图和节理倾斜（也有人称为倾向倾角）玫瑰花图（图 4—30）。玫瑰花图编制方法要点如下：

（1）把所测的节理的走向（或倾向）以 5°（或 10°）为间隔划分为若干方位组，统计出各方位组的节理数目和平均走（倾）向。

（2）在标有方位的半圆（倾斜玫瑰花图为整圆）内，自圆心沿各方位组节理的平均走（倾）向方位引线段，线段长度以各方位组相应的节理数目（倾角玫瑰图为平均倾角）按一定比例确定。

（3）连接各线段端点（若某方位组内无节理，则其两相邻方位组线段的端点应与圆心相连接）即得节理玫瑰花图案。

二、断层

断层是破裂面两侧的岩石有明显相对位移的一种断裂构造。其规模变化很大。小的断层延伸仅有几米，相对位移不过几厘米；大的断层可延伸数百千米至数千千米，相对位移可达几十千米；有的大断层甚至跨越洲际，切穿地壳硅铝层。断层的分布虽不及节理广泛，但它仍是地壳中极为常见的，也是最重要的地质构造。它往往构成区域地质格架，控制区域地质结构及其演化、控制或影响区域成矿作用，影响矿产资源的开发和矿井生产。现代活动性断层则更直接影响水工建筑，甚至可能引发地震、滑坡等地质灾害。

（一）断层要素

断层要素是断层基本组成部分的总称，是用以描述断层空间形态特征的几何要素。主要包括断层面、断层线、交面线、断盘、断距等（图 4—31）。

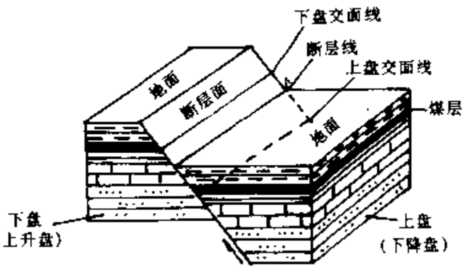


图 4—31　断层要素示意图

1. 断层面

岩层断裂发生相对位移总是沿着一定的破裂面进行的，此破裂面即称为断层面。断层面的空间位置由其走向、倾向和倾角确定。自然界中断层面往往不是一个平面，而是走向和倾向都可能发生变化的一个呈舒缓波状的曲面。有时，岩层断裂发生位移并不是沿着一个面，而是沿着一个变动带进行的，这个带称为断层破碎带。其宽度一般为数十厘米到数十米；多由一系列近于平行的密集破裂面组成；带内常充填有经过揉搓的大小不等、成分杂乱的岩石碎块或岩屑、岩片。一般来说，断层规模越大，破碎带越宽，结构越复杂。破碎带岩层破碎，抗风化能力小，因而沿破碎带分布的方向上一般地势较低，常有沟谷河流分布。

2. 断层线

断层线是指断层面与地面的交线，也就是断层面在地面上的出露线。它可以是直线，也可以是曲线，其形态由断层面形态、断层面产状以及地形起伏状况决定。断层面倾角越小地形起伏越大，断层线形态就越复杂。

3. 断盘

断层面两侧相对位移的岩块称为断盘。相对向上移动的岩块称为上升盘；相对向下移

动的岩块称为下降盘。当断层面倾斜时，位于断层面上方的岩块称为上盘，位于断层面下方的岩块称为下盘；当断层面直立时，则无上、下盘之分，这时，则可根据断层走向和两盘的相对位置给予命名，如东盘和西盘、北盘和南盘等（图4—31和图4—32）。

4．交面线

断层面与岩层面（一般取岩层底面）的交线称为交面线。断层面与煤层面的交线称为煤层交面线，又称断煤交线。其中，断层面与上盘煤层面的交线称为上盘断煤交线；与下盘煤层面的交线称为下盘断煤交线。交面线的形态决定于断层面和岩层面的形态，可以是两条直线或曲线，可以是平行或者交叉，也可以向一端撒开而向另一端收敛合并消失或向两端收敛消失。

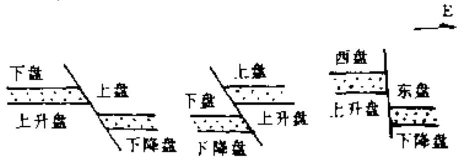


图4—32 断盘名称示意图

5．断距

断层两盘相对位移的距离称为断距。由于在同一断层、同一地点的不同方向上作剖面就会得到不同的断距表现形式和断距值。因此，目前地质界使用的断距名称很多，内涵也尚不统一。但归纳起来可分为两类，一类是层断距，即岩层断裂发生相对位移后对应岩层面在剖面上的距离；另一类是点断距，即岩层断裂发生相对位移后对应点之间的距离。

岩块上某点，在发生断裂位移后错开为两点，如图4—33Ⅰ中的 a、b 两点，此两点分别位于断层面两侧的两个盘上，两点的距离反映了断层两盘实际相对位移的距离，称其为真断距或总断距。在实际工作中，真断距是很难确定的，同时也没有多少实际意义。实际工作中通常使用的断距往往是指在一些特定方向上断层两盘同一（煤）岩层面错开的距离。下面仅将垂直于岩层走向和垂直于断层走向的剖面上的各种断距分述如下。

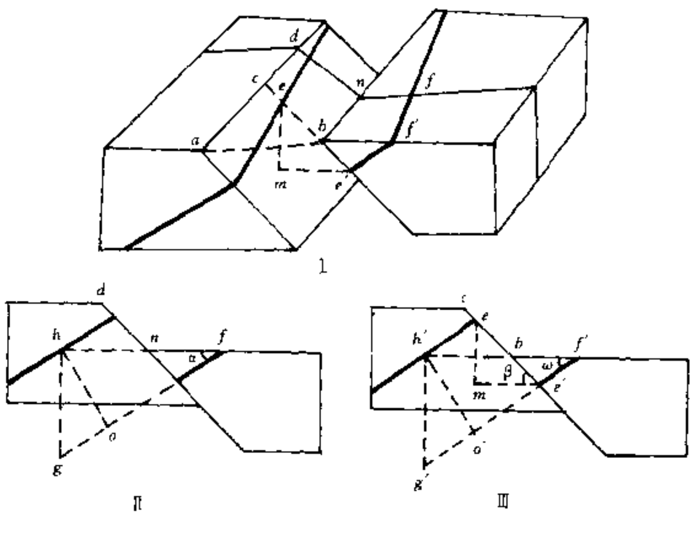


图4—33 断距示意图

Ⅰ—断层立体图；Ⅱ—垂直地层走向剖面图；Ⅲ—垂直断层走向剖面图；

ab—总断距；ho—地层断距；$h'o'$—视地层断距；$hg=h'g'$—铅直地层断距；hf—水平地层断距；$h'f'$—视水平地层断距；ee'—斜断距；em—铅直断距；me'—水平断距；α—岩层倾角；ω—岩层视倾角；β—断层倾角

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1) 在垂直于被错开岩层走向的剖面上可直接测得的断距有地层断距、垂直地层断距、水平地层断距。

地层断距　指断层两盘上对应（煤）岩层面之间的垂直距离（图 4—33 Ⅱ 中 ho）。

铅直地层断距　指断层两盘上对应（煤）岩层面之间的铅直距离，也就是地层断距的铅直分量（图 4—33 Ⅱ 中 hg）。

水平地层断距　指断层两盘上对应（煤）岩层面之间的水平距离，亦即地层断距的水平分量（图 4—33 Ⅱ 中 hf）。

以上三种断距均属层断距，亦称为离距。它们之间的关系可用下列公式表示：

$$\left.\begin{aligned} ho &= hg\cos\alpha \\ ho &= hf\sin\alpha \\ hg &= hf\,\mathrm{tg}\alpha \end{aligned}\right\} \tag{4-5}$$

式中　α——岩（煤）层倾角。

(2) 在垂直于断层走向的剖面上，可直接测得的断距有斜断距、铅直断距、水平断距。

斜断距　断层两盘对应地质界线点之间的距离（图 4—33 Ⅲ 中 ee'）。它反映了断层两盘对应岩（煤）层面沿断层倾斜线错开的倾斜距离。也称为倾向断距或斜距。

铅直断距　也称为落差。指断层两盘对应地质界线点之间的高程差，即斜断距的铅直分量（图 4—33 Ⅲ 中 em）。

水平断距　也称为平错。指断层两盘对应地质界线点之间的水平距离，即斜断距的水平分量（图 4—33 Ⅲ 中 me'）。

以上三种断距属点断距。它们之间的关系也可用下列公式表示：

$$\left.\begin{aligned} em &= ee'\sin\beta \\ em &= me'\,\mathrm{tg}\beta \\ me' &= ee'\cos\beta \end{aligned}\right\} \tag{4-6}$$

式中　β——断层倾角。

在描述和评价断层时，一般以落差作为其断距参数。它不仅能根据斜断距和平错换算求得，同时也可根据地层断距、铅直地层断距或水平地层断距按下式求得：

$$\left.\begin{aligned} & H = \frac{N}{\cos\alpha \pm \mathrm{ctg}\beta \cdot \sin\alpha \cdot \cos\varphi} \\ \text{或}\quad & H = \frac{N_g}{1 \pm \mathrm{ctg}\beta \cdot \mathrm{tg}\alpha \cdot \cos\varphi} \\ \text{或}\quad & H = \frac{N_f}{\mathrm{ctg}\alpha \pm \mathrm{ctg}\beta \cdot \cos\varphi} \end{aligned}\right\} \tag{4-7}$$

式中　H——断层落差；　　N——地层断距；

N_g——铅直地层断距；　　N_f——水平地层断距；

α——岩层真倾角；　　β——断层真倾角；

φ——岩层走向与断层走向的夹角。

（二）断层分类

断层的分类方案很多，这里仅介绍几种常用的分类方案。

1. 根据断层两盘相对位移的方向分类

(1) 正断层　指上盘相对下降、下盘相对上升的断层（4—34a）。一般认为岩层受水平

拉伸作用发生张裂，同时在重力作用下上盘相对下滑形成正断层。多数正断层都表现为张性，其特点是延伸距离较小；断层面倾角较大（一般在45°以上），断层面不平整、粗糙；断层中角砾岩胶结较松，棱角明显。

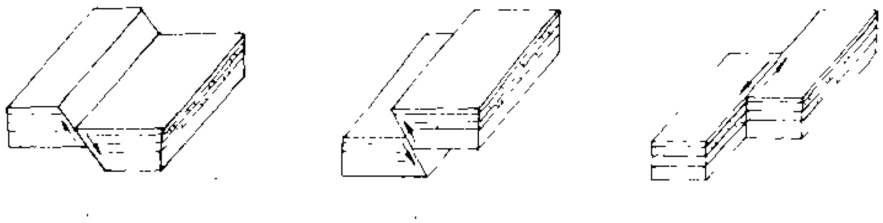


图4—34 按断层两盘相对位移划分的断层类型

(a) 正断层；(b) 逆断层；(c) 平移断层

(2) 逆断层 断层上盘相对上升，下盘相对下降的断层称为逆断层（图4—34b）。一般认为岩层受水平挤压作用而发生断裂，并在水平挤压力的继续作用下，上盘相对上升即形成逆断层。自然界中，多数逆断层属于压性断层。其特点是断层面常呈舒缓波状，发育有垂直断层走向的擦痕；有断层泥和角砾，角砾具压扁现象，胶结比较紧密；断层面一侧或两侧发育有小褶曲和羽状裂隙。习惯上把断层面倾角大于45°的逆断层称为逆冲断层；把断层面倾角在45°～25°之间的逆断层称为逆掩断层；把断层面倾角小于25°的逆断层称为辗掩断层。

(3) 平移断层 亦称平推断层。指断层两盘沿断层面作水平方向相对移动的断层（图4-34c）。一般认为它是岩层受水平扭动作用的产物。其特点是断层多较紧闭；断层面一般直立或近于直立，断层线多呈直线分布；有时可见断层泥和角砾，角砾细小，胶结紧密。

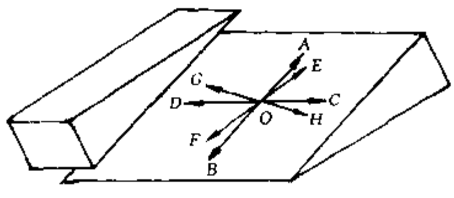


图4—35 斜移断层示意图

OA—逆断层；OB—正断层；OC、OD—平移断层；OE—平移—逆断层；OF—平移—正断层；OG—逆—平移断层；OH—正—平移断层

实际上，断层两盘相对位移并非只是简单的上下移动或水平移动，大多数断层兼有两种或两种以上不同的移动方式。为了比较确切地反映断层两盘相对位移的方向，常采用组合命名方法，即当断层两盘相对位移方向有主次之分时，则将主要相对位移方向定为断层的主要名称，次要相对位移方向定为次要名称，次要名称在前，主要名称在后，中间用破折号相联。如正—平移断层、逆—平移断层、平移—正断层、平移—逆断层等（图4—35），此类断层统称为斜移断层。此外，有的断层两盘作相对旋扭运动，这类断层称为旋扭断层（图4—36）。旋扭断层可有两种情况，一种是旋扭轴位于断层一端，断距向另一端逐渐加大（图4—36a）；一种是旋扭轴位于断层中部，两端相对位移方向相反，如一端为上盘上升，而另一端则为上盘下降（图4—36b）。

2. 根据断层走向和所切割岩层走向的关系分类

(1) 走向断层 断层走向与岩层走向基本一致（图4—37中F_1）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（2）倾向断层　断层走向与岩层走向基本直交（图 4—37 中 F_2）。

（3）斜交断层　断层走向与岩层走向明显斜交（图 4—37 中 F_3）。

此外，若断层面与岩层面平行或基本平行时，可称为顺层断层或层面断层。这种断层一般被认为是层间滑动的产物，是层滑构造的一种表现形式，常发育于硬岩层与软岩层的接触界面附近。

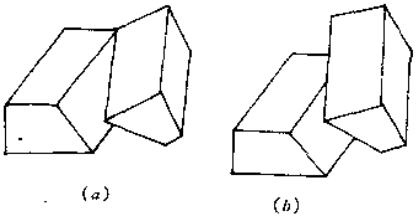


图 4-36　旋扭断层示意图

3. 根据断层走向与褶皱轴向或区域构造线方向的关系分类

（1）纵断层　断层走向与褶皱轴向或区域构造线方向一致（图 4—38 中 F_1）。

（2）横断层　断层走向与褶皱轴向或区域构造线方向基本垂直（图 4—38 中 F_2）。

（3）斜断层　断层走向与褶皱轴向或区域构造线方向斜交（图 4—38 中 F_3）。

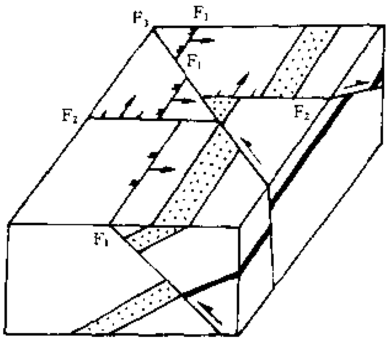


图 4—37　断层走向与岩层走向的关系示意图

F_1—走向断层；F_2—倾向断层；F_3—斜交断层

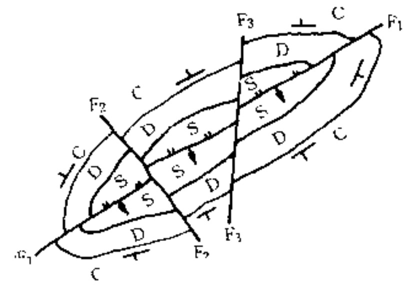


图 4—38　断层与褶皱轴向的关系示意图

F_1 纵断层；F_2—横断层；F_3—斜断层

4. 断层的组合类型

断层往往不是单独出现，而是成群出现，在断层发育地区，常组合成一定形式，从而构成断层的某种组合类型。自然界中，断层的组合类型有地垒和地堑、阶梯状构造、叠瓦状构造等。

（1）地垒和地堑　通常由两条以上正断层组成。若断层倾向相背，中间断盘相对上升，两边断盘相对下降，称其为地垒；反之，若断层倾向相对，中间盘相对下降，两边盘相对上升，则称其为地堑（图 4—39）。

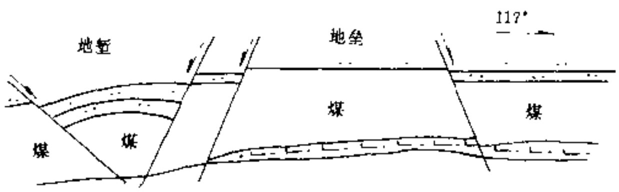


图 4—39　澄合矿务局权家河矿 5314 回风巷地垒和地堑素描（1：200）

(2) 阶梯状构造　由两条或两条以上产状大体一致的正断层组合在一起而使上盘在剖面上呈阶梯状向同一方向依次下降，这种断层的组合形式称为阶梯状构造（图 4—40）。

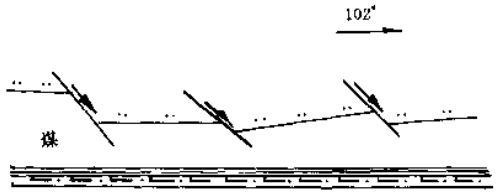


图 4—40　澄合矿务局权家河矿 5207 工作面阶梯状构造（1∶200）



图 4—41　叠瓦状构造

(3) 叠瓦状构造　由数条产状大致相同的逆断层组合在一起，其上盘在剖面上呈叠瓦状向同一方向依次上推，这种断层组合形式称为叠瓦状构造（图 4—41）。

（三）断层的观察与研究

自然界中，断层的类型很多，形成机制各异，规模大小不等，对其观测研究的内容和方法也就不同。但总体来说，断层观测研究的主要内容包括：识别断层的存在、确定断层产状、确定两盘相对运动的方向以及研究断层形成时代和演化进程等。

1. 断层存在的识别

某一地段存在断层，总会在相关的岩（煤）层、构造、水文、地貌等方面有所表现，这些表现即成为判别断层存在的主要标志。断层存在的标志很多，有直接的、也有间接的，归纳起来有以下几点：

1) 岩（煤）层或地层的缺失与重复

在野外或井下垂直于岩层走向的方向上（如石门一帮剖面上），若发现岩层或地层有不对称（单）重复（注意与褶皱造成的对称重复区别）或缺失现象，则说明有走向断层存在（图 4—42）。

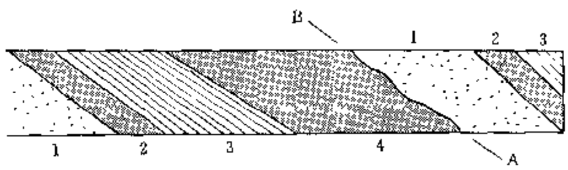


图 4—42　石门一帮剖面中断层造成的岩层重复示意图
AB　断层面；1、2、3、4—岩层层位编号

岩（煤）层重复与缺失主要决定于断层的产状、岩层的产状和断层的性质：

(1) 当走向断层与岩层倾向相反时，正断层造成岩层重复，逆断层造成岩层缺失（图 4—43*a*、*d*）。

(2) 当走向断层与岩层倾向相同且断层面倾角大于岩层倾角时，正断层造成岩层缺失，逆断层造成岩层重复（图 4—43*b*、*e*）。

(3) 当走向断层与岩层面倾向相同而断层面倾角小于岩层面倾角时，正断层造成岩层重复，逆断层造成岩层缺失（图 4—43*c*、*f*）。

2) 地质体或地质界线不连续

无论何种地质体或地质界线，如煤层、岩层、层理、岩体、岩石相带界线及早期形成的褶皱轴线和断层等，它们均是按一定产状在空间展布。如果发现某些地质体或地质界线

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

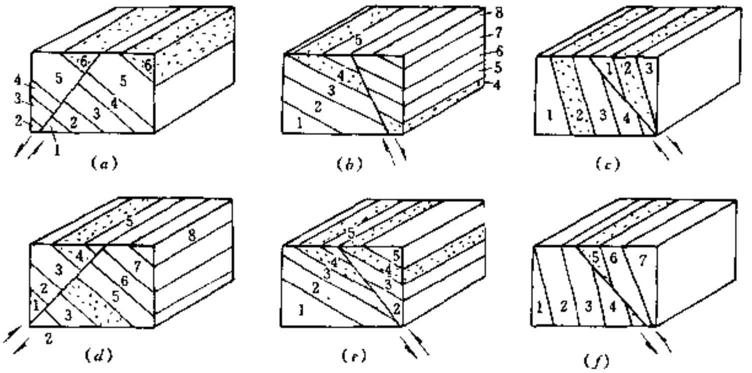


图 4－13　走向断层造成的地层重复和缺失示意图

在延展方向上突然中断、错开，则说明有横断层（或倾向断层）或斜（交）断层存在（图 4－37，图 4－38）。如在煤巷掘进过程中，迎头突然出现半煤岩（图 4－44*a*）或岩层（图 4－44*b*），即可判断有断层存在。需要指出的是，在多煤层矿井，当铅直地层断距恰好等于或近似等于两煤层的间距时，会发生串层现象，使上、下盘两个不同煤层相互接触，造成煤层连续的假象（图 4－44*c*），这时就要认真观察和研究不同煤层及其顶底板的特征，并据此判别断层的存在。

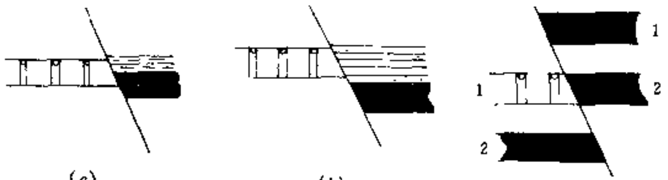


图 4－44　煤层巷道中断层的识别

3）构造标志

断层两侧的岩（煤）层因受强烈挤压或拉张、错动，常常会伴、派生诸如岩层产状急剧变化或变陡、岩层节理化或节理化加剧、岩石破碎成（断层）角砾岩或泥状、断层面擦痕、牵引褶曲等现象。在野外或井下，通过对这些现象的仔细观察和综合分析便可判别断层的存在。

4）地貌标志

断层尤其是断层带附近，岩石往往较为破碎，抗风化能力低，当其出露地表时，容易遭受风化剥蚀而形成冲沟；但切不可得出"逢沟必断"的结论。

有些山脉在延展方向上如遇断层，山脊便会错开形成错断山脊。如北京门头沟九龙山与香峪大梁就是被近南北向断层错开的错断山脊（图 4－45）。较大的断层在地貌上常直接裸露而成断层崖，在其附近常可找到具有擦痕或磨光镜面的岩块。断层崖受到与其垂直方向的水流侵蚀切割，即可形成沿断层走向分布的一系列断层三角面。

5）水文标志

一系列湖泊、沼泽、洼地、泉水等呈带状分布，常反映可能有大断层存在。例如，陕西渭河地堑南侧沿秦岭北麓的大断层就分布有华清池、汤峪等一系列温泉；云南东部沿小江断裂带分布着草海、嵩明湖、阳宗海、滇池、抚仙湖等一系列湖泊。此外，地表水系以折线方式急剧转向及岩石浸染、蚀变、矿化等现象的带状分布也常与断层有关，可帮助识别断层。

需要指出的是，以上所列举的断层存在标志，有的仅是一些可能存在断层的线索，切不可只根据其中的一、两个标志做出结论，一定要综合多种标志全面分析或找到断层的直接标志（如断层面），方可做出确有断层存在的结论。

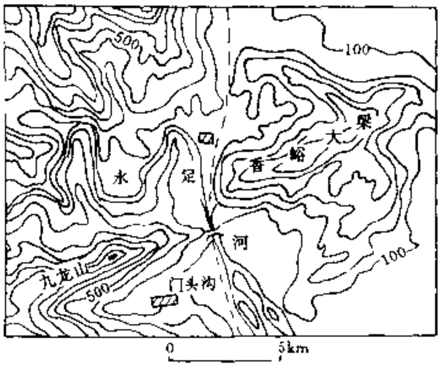


图 4—45 北京门头沟附近地形图
（虚线表示可能有断层）

2. 断层面产状测定

对于地表或井下显露的断层面可用罗盘直接测定其产状，而对于没有出（揭）露的断层面则需采用间接测定方法确定其产状，具体测定方法与岩层产状测定方法相同。

此外，在实际工作中，也可借助于断层的伴生和派生小构造的产状来确定断层产状。一般来说，与断层伴生的剪节理带与断层面产状近一致；断层派生的同斜紧闭揉皱带、片理化构造岩的面理、定向排列的构造透镜体带等与断层面成小角度相交。通过大量测量这些小构造的产状并进行统计分析即可以其代表性产状反映断层面产状。

3. 断盘位移方向的判定

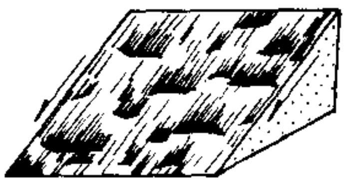


图 4—46 根据擦痕和阶步判定断盘运动方向

在煤矿生产中，常常会遇到煤层被断失的情况，为了寻找断失的煤层，就必须确定断层两盘相对位移的方向。一般可根据下列地质现象判定：

1）断层面上的擦痕和阶步

擦痕和阶步是断层两盘发生错动时相互摩擦而形成的痕迹。擦痕一般表现为一端粗而深、另一端细而浅的一组较为均匀的平行细纹。由粗深端向细浅端摸之有光滑感，反向摸之则有粗糙感。有光滑感的方向指示对盘的运动方向（图 4—46）。阶步是指断层面上与擦痕近于垂直或垂直的微小陡坎（或陡坡），它一般面向对盘运动方向。

2）断层角砾和断层泥

被断层切碎、揉搓并保留在断层带内的煤、岩层碎块和粉末称为断层角砾和断层泥。某一煤、岩层的断层角砾和断层泥，只能分布在它们曾经错动位移的那一段距离内，且离它们越远，粒度越细，数量越少。因此，根据它们的分布与原岩的相对位置，就可以判定断层两盘相对位移的方向（图 4—47）。

3）牵引褶皱

断层两侧的岩（煤）层，由于受断层两盘相对错动的摩擦力拖曳，常发生明显的弯曲，这种弯曲称为牵引褶皱或拖拉褶皱（图 4—48）。牵引褶皱弯曲的突起方向指示本盘的运动

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



图 4—47　根据断层角砾判定断盘运动方向



图 4　48　根据牵引褶皱判定断盘的运动方向

方向，而牵引褶曲的翼部岩层与断层面的锐交角尖端则指向对盘运动方向。

4）羽状节理

是指断层两盘相对运动时派生出的与断层面斜交呈羽状排列的张节理和剪节理(图4—49)。张节理与断层而所成锐角尖端指向张节理所在盘的运动方向；剪节理与断层面所成锐角尖端则指向对盘运动方向。

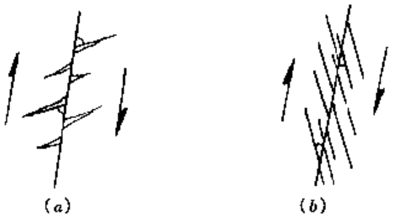


图 4—49　根据羽状节理判定断盘运动方向

（*a*）羽状张节理；（*b*）羽状剪节理

5）两盘地层的新老关系

倾斜岩层被走向断层或某些斜交断层切割，或褶曲一翼被纵断层或某些斜断层切割时，可根据两盘地层的新老关系判定断层两盘的相对运动方向。断层倾向与地层倾向相反或断层倾向与地层倾向相同且断层倾角大于地层倾角时，新地层所在盘为下降盘，老地层所在盘为上升盘（图 4—43*a*、*b*、*d*、*e*）；断层倾向与地层倾向相同、但断层倾角小于地层倾角时，则新地层所在盘为上升盘，老地层所在盘为下降盘（图 4—43*c*、*f*）。若地层产状倒转，则与上述情况相反。但是，如果地层变形复杂，形成强烈压紧褶皱，那么就不能简单地根据两盘直接接触的地层的新老关系而判定相对运动的方向。

6）褶曲轴线的错动和核部的宽窄变化

当褶曲被横断层和某些斜断层切割时，会造成褶曲的错动和断层两侧褶曲核部的宽窄变化。若褶曲轴线连续，仅核部宽窄发生变化，说明断盘只有相对升降运动。对背斜来说，核部变宽的一盘为上升盘，变窄的一般为下降盘（图 4—50*a*）；对向斜来说，情况则恰恰相反（图 4—50*b*）。若褶曲轴线和地层界线发生同方向错位，而褶曲核部在断层两盘没有出现宽窄突变现象，说明断层两盘只有相对水平运动，可根据褶曲轴线的错动方向判定断盘运动方向（图 4—50*c*）。若断层两盘既有褶曲轴线错动又有褶曲核部的宽窄变化，说明断层两盘发生了相对斜移运动，可根据褶曲轴线错动方向和断层引起褶曲核部的变化规律判定断盘运动方向（图 4—50*d*、*e*）。

7）伴生小断层

与主断层伴生的小断层和主断层是同一应力场下的产物，只是位移幅度不同而已，因此伴生小断层与主断层往往产状一致、性质相同，据此可根据巷道中特征一目了然的小断层判断主断层的性质，推断煤（矿）层的断失方向（图 4—51）。

4. 断层活动时间的确定

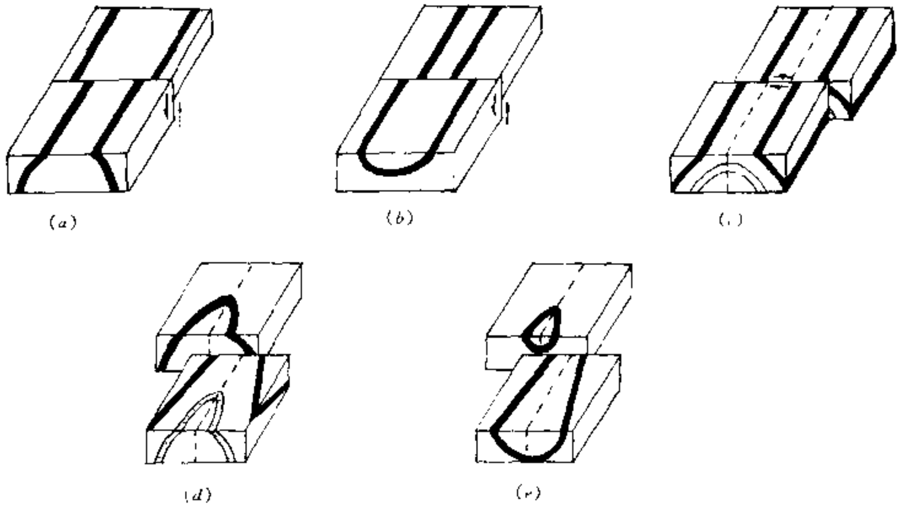


图 4－50　根据褶曲轴线错动和核部宽窄变化判定断盘运动方向

(a) 背斜核部上升盘变宽；(b) 向斜核部下降盘变宽；(c) 褶曲被平移断层切割；
(d) 背斜被斜移断层切割；(e) 向斜被斜移断层切割

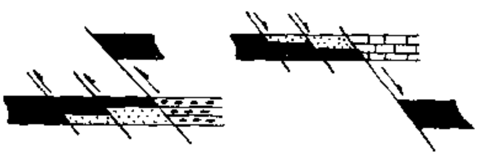


图 4－51　根据伴生小断层判定断盘运动方向

断层活动是地壳运动的表现形式之一。伴随断层活动，往往会有岩浆活动、地震、变质、沉积分异等地质作用的发生，这些地质作用必然会对已有地质体产生不同方式、不同程度的影响，形成切割穿插、弯曲变形、岩墙岩脉、沉积间断、沉积分异、岩石变质等地质现象，综合分析这些地质现象并确定其形成时间，即可判断断层的活动时间。确定断层形成时间的依据可归纳如下：

1）被断层切割的地层形成时代

如果断层切割了一套较老的地层，而被另一套较新的地层以不整合所覆盖，可以确定，该断层形成于不整合面下伏地层中最新地层形成时代以后和上覆地层中最老地层形成时代之前，即形成于下伏地层强烈变形时期。

2）与其它构造的力学和几何关系

断层是构造运动的产物，在一定的构造运动期，不仅会形成断层，而且会形成褶皱、节理等其它构造形态，这些构造为同一应力场中的产物，必然存在着有规律的力学和几何关系，可对其进行力学配套并结合区域应力场的特点和存在时期判定断层等构造的形成时期。

3）与岩墙岩脉的切割关系

岩墙岩脉的形成时代可利用放射性同位素法测得。若断层被岩墙岩脉充填且岩墙岩脉又有错断迹象，则岩浆侵入于断层形成和活动时期；若断层切断岩墙岩脉等岩体，则断层活动晚于岩浆侵入期；若断层被岩体切断或充填，则断层活动早于岩浆侵入期。

4）断层两盘同一地层的沉积特征

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

若断层两盘同一地层以断层为界，其中一盘该地层厚度明显大于另一盘同一地层或者两盘同一地层有明显相变，并且下部岩层的断距大于上部岩层的断距，则可以确定断层活动于该地层的形成时期。

5）岩层发生动力变质的时代

断层活动会产生局部定向压力和摩擦热，常常使断层附近的围岩发生不同程度的变质。若断层两侧有条带状变质岩分布，那么就可以断定断层形成于遭受动力变质作用的最新地层形成时代之后。

第五章 煤与含煤岩系

煤是怎样形成的？它有什么特性？中国煤炭资源主要分布在哪些区域？煤矿工程技术人员应该学习和掌握有关煤的一些知识，如成煤作用，煤种、煤质、煤层厚度及其稳定性、顶板、底板、标志层岩性，煤在地下的赋存情况等。

第一节 成煤作用

我国采煤和用煤的历史可以追溯到上千年前，但人们一直不清楚煤是怎样形成的。后来，人们在煤层中及其附近的岩层中，发现了植物化石，甚至在煤层中还发现了仍然保留着树干外形的煤炭，于是人们认识到，煤的形成肯定与植物有关。随着科学技术的发展，尤其是发明了显微镜以后，人们终于揭开了这个千年之谜：煤是由植物转变而来的。

一、成煤植物

植物是成煤的原始物质。植物分为低等植物和高等植物。低等植物主要是由单细胞或多细胞构成的丝状和叶片状植物体，最大特点是没有根、茎、叶等器官的分化，构造比较简单，多数生活在水中，如菌类和藻类；高等植物的最大特点是有根、茎、叶等器官的分化，如苔藓植物、蕨类植物、裸子植物、被子植物等。除苔藓植物外，其它植物常能形成高大的乔木，具有粗壮的茎和根。在漫长的45亿a的地史上，有过三次高等植物的极盛期（见表3－2地质年代表），即石炭、二叠纪的蕨类植物，三叠、侏罗纪的裸子植物，第三纪的被子植物。这三个时期的高等植物为成煤提供了丰富的原始物质。

由低等植物形成的煤称为腐泥煤。如从元古代一直到早泥盆世之前，是菌藻类低等植物时代，那时以藻类等为原始物质形成的煤就是一种腐泥煤，在我国俗称“石煤”（因其灰分即矿物质含量高、外观似黑色岩石而得名）。由高等植物形成的煤称为腐植煤，因其含有大量的腐植酸而得名。在自然界，腐植煤占绝大多数，目前开采的也主要是腐植煤，所以腐植煤是介绍的重点。

二、成煤作用

煤是由植物经过漫长的极其复杂的生物化学、物理化学作用转变而成的。从植物遗体堆积到转变为煤的一系列演变过程称为成煤作用。成煤作用大致可分为两个阶段（图5－1）：第一阶段，泥炭化阶段；第二阶段，煤化阶段。

在泥炭化阶段，低等植物及浮游生物遗体经腐泥化作用形成腐泥，高等植物遗体经泥炭化作用形成泥炭；在煤化阶段，腐泥转变为腐泥煤，泥炭经煤成岩作用转变为褐煤，褐煤经煤变质作用转变为烟煤和无烟煤等。褐煤、烟煤、无烟煤均属腐植煤类。

（一）泥炭化阶段

1．*腐泥化作用*

低等植物和浮游生物遗体在湖沼、泻湖和海湾等还原环境中转变成腐泥的生物化学作

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

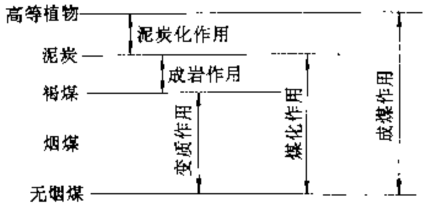


图 5—1　成煤作用阶段划分示意图

用称为腐泥化作用。

在海湾、泻湖、湖泊及积水较深的沼泽中，由于水流较为平静，低等植物——主要是水中浮游生物（包括蓝藻、绿藻和微体动物）以及水底和浅水的植物群，繁殖很快，死亡后遗体沉向水底，然后在缺氧的还原环境中，通过厌氧细菌的作用，低等植物中的蛋白质、碳水化合物、脂肪等物质经分解和化合等一系列复杂的生物化学作用，形成一种含水很多的棉絮状胶体物质，这种物质再经过进一步变化、与泥沙混合就形成了腐泥，这个过程称为腐泥化作用。

腐泥通常呈黄褐色或黑褐色，新鲜的腐泥含水量达 70%以上，是一种呈粥状流动的或冻胶淤泥状的物质；变干时含水量仍达 20%，呈一种具有弹性的橡皮状的物质。

我国南方许多地区如浙江、江西、湖北、湖南等地，在早古生代的某些地层中发现了由腐泥转变而成的煤——“石煤”。在现代的淡水湖沼、咸水湖泊和泻湖海湾中也有腐泥的形成。腐泥可以作肥料用，也可以晒干后作燃料用。

2. 泥炭化作用

高等植物遗体，在泥炭沼泽中经受复杂的生物化学和物理化学变化，转变成泥炭的过程称为泥炭化作用。

沼泽是常年积水的洼地。在内陆，湖泊、河流由于冲积、淤积而沼泽化，如我国川西北的若尔盖地区就是一望无际的现代草木泥炭沼泽；在近海地区，海水容易入侵，海退后随着漫长的时间推移，形成了广阔的沼泽，如我国海南三亚、福建南部沿海、广西和台湾沿海，就有大片的生长在风平浪静、淤泥深厚海滩沼泽上的红树林。在沼泽这种特殊的环境中，一方面因雨量充沛，温暖湿润，有利植物尤其是高等植物的繁茂；另一方面因有不太深的积水，植物死亡后的遗体沉入水底，被水覆盖得以保存不被氧化，为成煤提供了原始物质。

泥炭沼泽的垂直剖面一般可分为三层：氧化环境的表层、中间层及还原环境的底层。表层空气流通、温度较高，含有大量的需氧性细菌等微生物，植物遗体经过氧化分解和水解作用，一部分彻底破坏，转变成气体和水分而逸去；一部分分解为较简单的有机化合物；难以分解的部分继续保留下来。随着植物遗体的堆积和分解，从沼泽的表层到底层，氧化环境逐渐转化为还原环境。这时氧化分解作用逐步减弱，在厌氧性细菌的参与下，发生了分解产物之间的合成作用和分解产物与未分解的植物遗体之间的相互作用，形成了新的合成物质——腐植酸和沥青质。这种新物质与尚未分解的植物遗体，以及由地表流水携入的泥沙混合一起，形成了泥炭。高等植物死亡后转化成泥炭的生物化学作用过程称为泥炭化作用。泥炭与植物相比，在化学组成上发生了质的变化（表 5—1）。

泥炭一般呈黄褐色或黑褐色，无光泽，质地疏松。从表 5—1 中可以看出，植物转变为泥炭后，最为特征的变化是泥炭中蛋白质全部消失，出现了腐植酸，其次是碳含量、氮含量增加了，氧含量减少了。

据统计我国厚度大于 30cm 的泥炭地的面积约 $34.8\times10^4km^2$。泥炭风干后可作燃料；也可作化工原料；因泥炭中含大量的腐植酸以及氮、磷、钾等元素，所以也可作重要肥料。

表5-1 植物与泥炭化学组成的比较

植物与泥炭	元素组成%（有机基）				有机组成				
	C	H	N	O+S	纤维素 半纤维素	木质素	蛋白质	沥青 A	腐植酸
莎草	47.90	5.51	1.61	39.37	50	20～30	5～10	5～10	0
木本植物	50.15	6.20	1.05	42.10	50.60	20.30	1～7	1～3	0
桦川草本泥炭	55.87	6.35	2.90	34.97	19.69	0.75	0	3.56	43.58
合浦木本泥炭	65.46	6.53	1.26	26.75	0.89	0.39	0	16	52.88

（据中国科学院煤化学研究所）

（二）煤化阶段

泥炭或腐泥转变为褐煤、烟煤、无烟煤、超无烟煤的物理化学变化称为煤化作用。煤化作用分为煤成岩作用和煤变质作用两个阶段。

因目前开采的煤层绝大多数是由高等植物转化的腐植煤，所以重点介绍泥炭煤化作用的过程，腐泥煤化作用的规律基本与其类似。

1. 煤成岩作用

泥炭或腐泥被掩埋后，在地温、压力等因素的影响下压实、脱水、固结，腐植酸向腐植质转变而成褐煤的过程称为煤成岩作用。

泥炭被其它沉积物掩盖保存下来后，随着地壳的进一步下降，它上面的覆盖物也愈来愈厚，此时温度、压力逐渐增加，对细菌的生存越来越不利，生物化学作用逐渐停止，取而代之的是复杂的物理化学作用。原来疏松多水的泥炭受到压紧、脱水、胶结、聚合等一系列变化，转变为比重较大、较为致密的褐煤。

褐煤因呈褐色而得名，光泽很弱，埋藏浅。褐煤可作为化工原料及民用燃料。如我国内蒙古东部科尔沁草原的霍林河露天煤矿就是开采优质褐煤，储量达百亿吨。

2. 煤变质作用

褐煤在地下受相对较高的温度、压力、时间等因素的影响转变为烟煤、无烟煤、天然焦、石墨等的地球化学作用称为煤变质作用。

泥炭形成褐煤后，如果地壳不再沉降，那么煤化作用就可能停止在褐煤阶段。如果地壳继续沉降，褐煤被沉降到较深处时，受到不断增高的温度和压力的影响，引起了煤的内部分子结构、物理性质、化学性质等方面的重大变化，最为突出的是煤中的腐植酸全部消失，出现了粘结性，光泽增强，碳含量增加。这时褐煤逐渐变质转化成烟煤。

烟煤因燃烧时冒烟而得名，一般为黑色，光泽较强，密度稍大。在这个变质过程中，由于地质条件的不同，温度、压力的差异及煤受热持续时间的不同，导致不同变质程度的烟煤产生。通常按变质程度由低到高将烟煤划分为六个阶段，即长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤和贫煤阶段。烟煤的用途最广，化工、炼焦、动力、民用均可，是不可缺少的资源。

如果发生更强的地壳运动或岩浆活动，使烟煤受到更高的温度和压力的影响，烟煤就可以进一步变质而转化为无烟煤。无烟煤因燃烧无烟而得名，有极强的似金属光泽，呈钢灰色，硬度较大。无烟煤主要为民用。

在个别情况下，无烟煤可进一步变质而转化为石墨。石墨是一种矿物，已不属于煤的范畴了。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

三、成煤的必要条件

资料表明，自然界煤的分布无论从时间上和空间上都是极不均衡的。在漫长的地史长河中，也只有短暂的几个地质时期形成了有经济价值的煤，而其它地质时期则没有出现具有经济价值的煤，有的地质时期甚至没有成煤作用发生。即使在同一地质时期，有的地区发生了成煤作用，有的地区则没有发生；有的地区形成的煤层厚，有的地区形成的煤层薄。由此可见，成煤作用的发生是受某些条件控制的，这些条件称为成煤的控制因素。成煤的必要条件归纳如下。

（一）植物条件

植物是成煤的原始物质。没有大量植物尤其是高等植物的生长、繁盛，就不可能形成具有经济价值的煤。植物的生长也是从无到有，从少到多，从低级到高级，在地球几十亿年的地史中，也只有在近几亿年高等植物大量繁盛后才可能形成煤。例如我国三个主要聚煤期就分别与蕨类植物、裸子植物及被子植物的繁盛时期对应。

（二）气候条件

潮湿、温暖的气候条件是成煤的最有利的条件之一。

据研究，在热带、温带和寒带都可以形成泥炭沼泽，但温度的高低影响植物生长速度和生长量以及植物群种类的差异，也影响植物遗体的分解速度。在寒冷气候条件下，由于温度低，植物生长慢，微生物活动极弱，植物遗体分解缓慢；在高温条件下，虽然可使植物繁殖快，增长快，但又促使植物遗体快速分解，破坏了泥炭的大量堆积。因此，温度过高或过低都不利于泥炭的大量堆积，最有利的应该是温暖的气候条件。

泥炭的积累速度不仅与温度有关，还与沼泽覆水程度有关，而沼泽的覆水程度与湿度有关。当年降水量大于年蒸发量时，才有可能发生成煤作用。

一般认为温度与湿度比较，湿度对成煤更为重要，无论在热带、温带或寒带，只要有足够的湿度，都有可能发生成煤作用。

（三）地理条件

地理条件指的是成煤场所。地史上有相当多的植物死亡后，因没有有利的堆积场所而被氧化分解了。所以，要形成分布面积较广的煤层，还必须有适于发生大面积沼泽化的自然地理场所。据我国学者研究，将适于成煤的古地理环境划分为三大类九小类（表5—2，图5—2）。

表5—2 成煤古地理类型表

大 类	类 型
浅 海 型	1. 浅海型
近 海 型	2. 滨海平原型 3. 滨海冲积平原型 4. 滨海三角洲型 5. 滨海山前（山间）平原型
内 陆 型	6. 内陆盆地型 7. 山间盆地型 8. 山间谷地型 9. 大陆冲积平原型

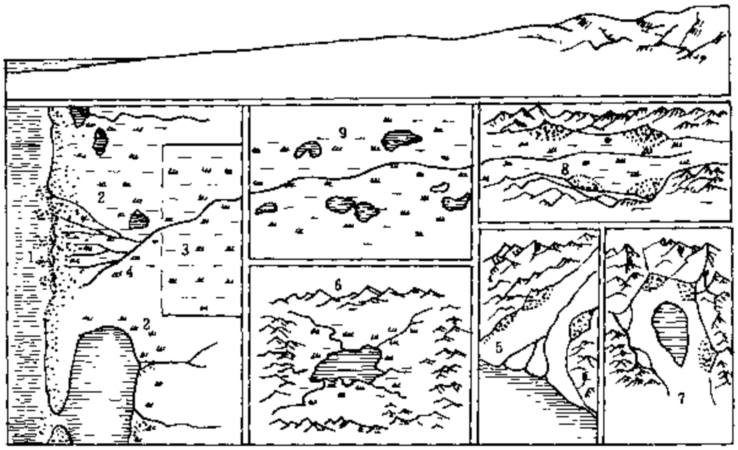


图 5－2　成煤古地理类型简略分布示意图

（据 Л. Н. Ботвинкина）

1—浅海型；2—滨海平原型；3—滨海冲积平原型；4—三角洲型；5—滨海山前（山间）平原型；6—内陆盆地型；7—山间盆地型；8—山间谷地型；9—大陆冲积平原型

（四）地壳运动条件

据研究，成煤作用与地壳下沉息息相关。地壳下沉形成有利的沉积场所——沼泽地。但地壳下沉过快，沼泽地水深就会加大，逐渐转变成湖泊，使得成煤作用中止；地壳下沉过慢，植物遗体堆积相对加快，沼泽地地形增高，水量逐渐减少，沼泽环境转变为其它不利植物繁盛的环境，也就不利于成煤作用的进行。所以，只有地壳沉降速度与植物遗体堆积速度平衡时，即地壳下沉空间与植物遗体堆积空间近似相等时，才能始终保持沼泽环境，成煤作用才能持续。

当然，要使泥炭层得以保存和转变成煤，还必须伴有地壳大幅度地快速沉降，在泥炭层之上很快沉积其顶板岩层，最后经过煤变质作用，泥炭层才能转变为煤层。

地壳运动同样也对气候条件起到控制作用。一次剧烈的地壳运动发生后，常引起地形强烈的分化，形成的高耸山脉对温度和湿度都有极大的影响。如横亘我国中部的秦岭、大巴山，阻挡了来自南方的暖流，成为长江流域温暖潮湿的亚热带与北方比较干燥的温带气候的天然分界。

综上所述，植物、气候、地理、地壳运动都是成煤的必要条件，缺一不可，同时具备四个条件的时间越长，就越有利于成煤。其中，地壳运动是主导因素，起控制作用，它在区域上可以影响到一定范围内的海进海退和海岸线的迁移，影响地理景观的变化；在局部可以影响聚煤盆地的微地貌和水文条件，同时控制了沉积与补偿的关系和沉积厚度以及含煤性的变化。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第二节　煤的物质组成、性质与分类

不同的煤种有不同的用途，这是由它的化学组成、性质所决定的。因此，研究煤的物质组成和性质，对于评价煤质和确定煤的综合利用，都具有重要的实际意义。

一、煤岩成分和宏观煤岩类型

从岩石学观点来看，煤是一种可燃有机岩。像花岗岩是由石英、钾长石、斜长石等矿物组成的一样，腐植煤是由丝炭、镜煤、暗煤、亮煤四种成分组成。这四种成分称为煤岩成分（亦称宏观煤岩组分）。

（一）煤岩成分

煤岩成分指肉眼能观察到的煤的基本组成单位，即丝炭、镜煤、暗煤和亮煤。

1. 丝炭

颜色灰黑，形如木炭具有明显的纤维状结构，和丝绢光泽，所以称为丝炭。丝炭疏松多孔，硬度小，脆度大，易染指。在煤层中多呈厚几毫米的扁平透镜体沿层理面继续出现。

丝炭的挥发分产率和氢含量高，但没有粘结性。由于孔隙度大，吸氧性强，所以极易发生氧化和自燃。性脆易碎，也易形成煤尘。丝炭在煤层中数量不多，一般不单独成层，但分布很广。

2. 镜煤

煤中颜色最黑，光泽最强，光亮如镜，所以称为镜煤。镜煤结构均一，以贝壳状断口和垂直的内生裂隙发育为特征。镜煤脆度仅次于丝炭，易破碎成棱角状的立方体或多面体小块。

镜煤的挥发分产率和氢含量高，粘结性也强，中变质的镜煤是炼焦的最好配料。镜煤在煤层中不形成独立的分层，而常呈透镜体状和条带状散布于亮煤之中，或呈细线理状散布于暗煤中，与其它煤岩成分界线明显。

3. 暗煤

颜色灰黑，光泽暗淡，所以称为暗煤。致密坚硬，相对密度较大，韧性较大，一般层理不清晰，有时为粒状结构，断面粗糙。暗煤的成分相当复杂，矿物质含量也较多，对煤质影响较大。暗煤在煤层中占的比例较大，可以形成较厚的分层或单独成层。

4. 亮煤

颜色灰黑，光泽较强，虽不如镜煤，但仍很明亮，所以称为亮煤。亮煤较脆，易碎，内生裂隙较发育，相对密度较小，均一程度不如镜煤，但有时也具有贝壳状断口。亮煤的各种物理、化学、工艺性质多介于镜煤和暗煤之间。亮煤在煤层中占的比例较大，也可以形成较厚的分层或呈较大的凸镜体出现，或单独成层。

（二）宏观煤岩类型

上述煤岩成分在煤的肉眼观察研究中曾被广泛采用。但由于其中的丝炭和镜煤一般只是细小的透镜体或以不规则的薄层状出现；亮煤和暗煤虽然分层较厚，但也仅仅只有两种类型，且它们之间常有互相过渡的现象，分层界线往往不明确。所以在实际工作中通常根据煤的平均光泽强度、宏观煤岩成分的数量比例和组合情况，划分出四种宏观煤岩类型。

1. 光亮煤

主要由镜煤和亮煤组成，光泽很强，与镜煤的光泽相近。由于成分较均一，一般条带状结构不明显。常具有贝壳状断口，内生裂隙发育，脆度较大，容易破碎。粘结性较强，所以中变质的光亮煤是最好的冶金用煤。

2. 半亮煤

常以亮煤为主（约占50%），有时由镜煤、亮煤和暗煤组成，也可能夹有丝炭。半亮煤的光泽强度仅次于光亮煤，其最大特点是条带状结构明显，一般由较光亮和较暗淡的条带互层而显示出半亮的平均光泽。半亮煤的内生裂隙较发育，常具有阶梯状断口。中变质的半亮煤粘结性也较好。它是最常见的宏观煤岩类型。

3. 半暗煤

由暗煤、亮煤组成，但以暗煤为主（约占50%），有时也可见呈线理状或透镜体的镜煤和丝炭。半暗煤光泽较暗，硬度、韧性、相对密度均较大。内生裂隙不发育，断口参差不齐。

4. 暗淡煤

主要由暗煤组成，有时也夹有少量的镜煤、丝炭。暗淡煤的光泽十分微弱。其结构致密，不显层理，块状构造，质地坚硬，内生裂隙不发育，断口常呈参差状，韧性大，相对密度大。暗淡煤的矿物质含量较高，因而煤质较差。

在实际工作中划分四种宏观煤岩类型时，要注意只有变质程度相同的煤才能相互比较和划分不同类型，划分的最小厚度一般为3～10cm。

二、煤的性质

不同的煤，其各种元素的含量和化学结构是不同的，这就造成了煤在化学性质和物理性质上的差异性，并使其在加工利用过程中表现出不同的工艺性质。

（一）煤的化学组成

煤是一种非均质体，它的化学组成十分复杂，但归纳起来可分为有机质和无机质两大类。有机质是煤的主体，是煤炭加工利用的对象，煤的许多用途主要是由煤中有机质的性质决定的。煤中的有机质主要由C、H、O、N、S等五种元素组成，其中又以C、H、O为主，其总和占有机质的95%以上。无机质包括矿物质及水分，当然其中也含有少量的C、H、O、S等元素，它们绝大多数是煤中有害成分，对煤的加工利用有一定的影响。

1. 碳（C）

碳是煤中有机质的主要成分，也是煤燃烧过程中产生热量的重要元素。每一千克纯碳完全燃烧时能放出34.107MJ的热量。煤中碳含量越多，煤的发热量也越高。煤中碳含量随煤的变质程度的加深而增加（表5—3）。

表5—3 煤中碳、氢、氧、氮四种元素组成的百分含量

元素名称	煤中的百分含量（%）									
	腐泥煤	泥炭	褐煤	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
C_{daf}	75～80	50～60	60～77	74～80	79～85	80～89	87～89	87～91	88～92	90
H_{daf}	>6	6			5.0～6.4		4.8～5.5	4.4～5.0	2.4～4.6	
N_{daf}	0.5～5.7	0.6～4.0	0.2～2.5	0.7～1.8	1～1.7	1～1.6	1～1.5	0.9～1.4	0.7～1.8	0.3～1.5
O_{daf}		40～30	30～15	16～9	12～8	7～3.7	5.4～3	4.7～3.1	2.5～1	3.7～1

（根据平均煤样分析结果）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 氢（H）

氢是煤中有机质的第二个主要成分，也是煤燃烧过程中产生热量的重要元素。每一千克氢完全燃烧时能产生 143.248MJ 的热量，为碳元素的 4.2 倍。氢含量与成煤原始物质密切相关。腐泥煤的氢含量比腐植煤高，腐泥煤的氢含量一般在 6%以上，有的高达 11%，这是因为形成腐泥煤的低等植物富含氢元素的缘故。而腐植煤的氢含量一般在 0.8%～6.5%。从表 5—3 中可以看出，氢含量总的变化趋势是随着变质程度的加深而减少；但在烟煤系列中，以低变质阶段的气煤氢含量最高，一般都在 6%左右。

3. 氧（O）

氧是煤中不可燃的元素，但它可以助燃。氧在煤的有机质中以各种官能团* 的形式存在。在煤化作用阶段，由于温度的影响，产生脱 CO_2 和脱水作用，因此煤中氧含量随煤化程度的加深而减少，但其波动范围很大（见表 5—3）。从褐煤、长焰煤、气煤到肥煤，氧含量下降显著；从焦煤、瘦煤、贫煤到无烟煤，氧含量的下降幅度较小。

4. 氮（N）

煤的有机质中氮的含量比较少，它主要来自成煤植物中的蛋白质，也有一部分可能是成煤过程中细菌活动的产物。腐植煤中氮含量低而变化小，通常波动在 0.5%～2%之间；腐泥煤氮含量高而波动大，为 0.5%～5.7%。在煤中氮与碳结合得很牢固，煤化作用对其影响不大，一般随煤化程度加深而略趋于减少（见表 5—3），但其规律性不甚明显。在高温加工中，氮转化为氨（NH_3）以及其它氮的化合物。

5. 硫（S）

煤中的硫通常分为无机硫和有机硫（S_o）两部分，有时也有微量的元素硫。无机硫又分为硫化物硫（S_p）和硫酸盐硫（S_s）两种，硫化物硫亦称黄铁矿硫（S_p）。煤中的硫主要以黄铁矿硫为主，其它硫化物硫含量都较低。有机硫是成煤植物本身含有的硫，以及在成煤过程中转化到有机质中的硫。一般把煤中硫的总和称为全硫（S_t）。据煤的干燥基全硫含量 $S_{t,d}$（%）将煤分为 6 级（GB/T15224.2—94）：

级别名称	代号	硫分范围 $S_{t,d}$（%）
特低硫煤	SLS	≤0.50
低硫分煤	LS	0.51～1.00
低中硫煤	LMS	1.01～1.50
中硫分煤	MS	1.51～2.00
中高硫煤	MHS	2.01～3.00
高硫分煤	HS	＞3.00

硫是煤中有害元素之一。炼焦时如果煤中含有超标的硫，就会使钢铁热脆成为废品；煤作为燃烧和气化燃料时，产生的 SO_2 气体会腐蚀设备；当 SO_2 排入大气也成为“公害”；在煤的贮存过程中，特别是 FeS_2 含量多的煤，易氧化使煤堆温度升高而自燃。但煤中的硫也是一种重要的化工原料，是制造硫酸的重要元素。

6. 磷（P）

煤中的磷主要是以无机磷化物的形态存在，但也存在微量的有机磷。磷在煤中的含量

---

* 官能团——当有机化合物分子中的氢被其它原子或原子团取代而获得特殊的性质时，这些原子或原子团称为官能团。

极低，一般低于 0.1%，最高也不高于 1%。

虽然磷在煤中的含量极低，但其危害却很大。炼焦时，磷几乎都转入焦炭中，从而使钢材具有冷脆性。因此，炼焦用煤要求磷含量在 0.02%～0.03%以下。

7. 其它元素

煤中还存在许多种稀有元素以及放射性元素，如锗（Ge）、镓（Ga）、铀（U）、钒（V）、砷（As）、氯（Cl）等。

（二）煤的物理性质

1. 煤的颜色和条痕

煤的颜色是指新鲜煤块表面的自然色彩。腐植煤的颜色随煤化程度的增高而变化（表 5—4），一般从褐煤、烟煤到无烟煤，其颜色从棕褐、褐黑、深黑到灰黑色、钢灰色。据此凭肉眼就可区分褐煤、烟煤和无烟煤。煤中矿物质可使煤的颜色变浅，而水分的增加又可使煤的颜色加深。

煤粉末的颜色称为粉色，亦称条痕色（或条痕）。煤的条痕色与颜色相差不大（表 5—4）。

表 5—4　腐植煤光泽、颜色、粉色对比表

煤化程度	光泽	颜色	粉色
褐煤	无光泽或暗淡的沥青光泽	褐色、深褐色、黑褐色	浅棕色、深棕色
长焰煤	沥青光泽	黑色、带褐	深棕色
气煤	强沥青光泽、弱玻璃光泽	黑色	棕黑色
肥煤	玻璃光泽		黑色、带棕
焦煤	强玻璃光泽		
瘦煤			黑色
贫煤	金刚光泽	黑色，有时带灰	
无烟煤	似金属光泽	灰黑色，带有古铜色、钢灰色色彩	灰黑色

2. 煤的光泽

煤的光泽指常光下煤新鲜面的反光能力，是肉眼鉴定煤的主要标志之一。腐植煤随煤化程度的增高，光泽增强（表 5—4）；但煤岩成分不同，其光泽增强程度不同。一般暗煤的光泽变化不明显，而镜煤、较纯净的亮煤变化显著。所以在确定煤化程度时，必须以镜煤或较纯净的亮煤作为依据。

3. 煤的密度

煤的密度是指单位体积煤的质量，单位为 g/cm^3。煤的密度取决于煤岩成分、煤化程度及煤中所含矿物杂质的成分及含量。一般暗煤密度较大，亮煤次之，镜煤最小。煤化程度越高的煤，其密度越大；煤中矿物质含量越高，其密度越大。

按煤的利用方式不同，煤的密度可分为：

煤的真密度　曾称真比重。20℃时，单位体积（不含孔隙）煤的质量，以 g/cm^3 表示。煤的真密度在低煤阶煤为 1.25～1.45g/cm^3 之间；随煤化程度增高，真密度减小，中等煤

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

化程度煤的真密度为1.25～1.30g/cm³；随后又逐渐增大，到无烟煤阶段，真密度急剧增大，达1.40～1.86g/cm³。煤中矿物质的真密度高于煤的有机组成，在1.9～5.1g/cm³之间，煤的真密度随矿物质含量的增高而增大。

煤的视密度　曾称容重或体重。20℃时，单位体积（含孔隙）煤的质量，以g/cm³表示。煤的视密度值小于真密度值。一般褐煤的视密度为1.05～1.20g/cm³，烟煤为1.20～1.40g/cm³，无烟煤的视密度变化范围大，为1.35～1.80g/cm³。煤的视密度同样受煤岩成分、煤化程度和矿物质的影响。煤炭储量、煤仓设计以及磨碎、运输、燃烧等方面的计算均按煤的视密度进行。

煤的相对密度　煤的密度与同温度水的密度之比值。煤的相对密度可分为真相对密度和视相对密度。真相对密度曾称真比重，是在20℃时，煤的质量（不含孔隙）与同体积水的质量之比值；视相对密度曾称假比重，是在20℃时，煤的质量（含孔隙）与同体积水的质量之比值。煤的真、视相对密度在应用上与真、视密度相同，但前者是比值，故无单位。

4. 煤的硬度、煤的脆度

煤的硬度是指抵抗外来机械作用的能力。按摩氏硬度计，一般煤的硬度介于1～4之间，褐煤和焦煤的硬度最小，约为2～2.5；无烟煤的硬度最大，接近4。对同一煤化程度的煤，暗煤比亮煤和镜煤硬度大。

煤的脆度是指煤在外力作用下突然断裂的难易程度。一般肥煤、焦煤和瘦煤的脆度最大，无烟煤脆度最小，低变质的煤脆度也小。宏观煤岩成分中的丝炭脆度最大，镜煤次之，暗煤最小。

5. 煤的裂隙

煤的裂隙是指在成煤过程中，煤受到自然界各种应力的影响所造成的裂开现象。按成因分为煤的内生裂隙和外生裂隙。

煤的内生裂隙是在煤化作用过程中，受到温度、压力的影响，煤内部结构变化，体积均匀收缩产生内张力而形成的。内生裂隙面较为平坦光滑，一般垂直层理面，且常呈两组同等发育。内生裂隙在中变质烟煤中最为发育，而褐煤、无烟煤中较为少见。在相同变质程度的煤中，镜煤、亮煤内也常见内生裂隙。

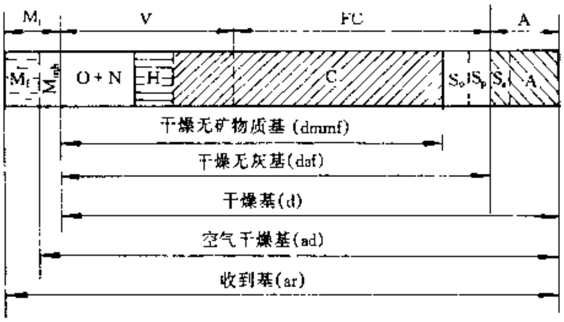


图5－3　各种基准的组成关系示意图

煤的外生裂隙是在煤层形成之后，受构造应力的作用产生的。它可以出现在煤层的任何部位，常常同时切穿几个煤岩成分或煤分层，一般与煤层层理面斜交，裂隙面上常有滑动痕迹，有时还可见到充填物。外生裂隙与成煤作用没有密切的联系，但它的方向却与附近的断层方向大体一致。

6. 煤的导电性

煤的导电性是指煤传导电流的能力。它与煤化程度密切相关。褐煤由于孔隙度大，湿度大，电阻率低；褐煤向烟煤过渡时，电阻率剧增，所以低、中变质烟煤是电的不良导体；随着煤化程度的增高，电阻率减小，到

贫煤、无烟煤时，电阻率较低，尤其是无烟煤阶段，电阻率急剧减小，为电的良导体。

（三）煤的工艺性质

工业用煤对煤质的要求各有不同，有的甚至十分严格。为了了解煤的质量及工艺性质，需要进行煤质分析化验。煤质分析化验的项目、符号繁多，而且新旧标准交替混杂。为了便于学习，现把有关的煤质符号列入以下 3 个表中（表 5—5、表 5—6、表 5—7）。其中表 5—7 列出的各种"基"是表示化验结果以什么状态下的煤样为基础而得出的，其组成关系可用图 5—3 示意之。

表 5—5　新旧国标符号对照表

项目名称	新标准	旧标准	项目名称	新标准	旧标准
收缩度	a	a	最高内在水分	MHC	$W_{\wedge}$
灰分	A	A	矿物质	MM	MM
视（相对）密度	ARD		透光率	P_M	P_M
膨胀度	b	b	发热量	Q	Q
结渣率	Clin	JZ	罗加指数	R. I	$R.I.$
半焦产率	CR	K	灰熔融性软化温度	ST	T_2
坩埚膨胀序数	CSN	-	焦油产率	Tar	T
灰熔融性变形温度	DT	T_1	真（相对）密度	TRD	d
苯萃取物产率	E_b	E_b	热稳定性	TS	R_v
固定碳	FC	C_{GD}	挥发分	V	V
灰熔融性流动温度	FT	T_3	干馏总水产率	Water	W_z
粘结指数	$G_{R.I}$	$G_{R.I}$	焦块最终收缩度	X	X
腐植酸产率	HA	H	胶质层最大厚度	Y	Y
哈氏可磨性指数	HGI	K_{HG}	煤对二氧化碳的反应性	a	a
水分	M	W			

表 5—6　项目细划分采用的下标符号对照表

项目名称	新标准	旧标准	项目名称	新标准	旧标准
外在或游离	f	WZ	恒容高位	gr，v	GW（恒容）
内在	inh	NZ	恒容低位	net，v	DW（恒容）
有机	o	YJ	恒压低位	net，p	DW（恒压）
硫化铁	p	LT	全	t	Q
硫酸盐	s	LY			

表 5—7　新旧常用基准表

新名称	新符号	旧名称	旧符号	含义	用途
收到基	ar	应用基	y	指直接使用的，含有内在水及外在水的煤	用于销售煤，物料平衡、热平衡及热效率计算等
空气干燥基	ad	分析基	f	指经空气干燥、或按规定条件干燥过的只含内在水的煤	多为试验室分析工作的基础

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

新名称	新符号	旧名称	旧符号	含义	用途
干燥基	d	干基	g	指完全不含水分的干燥煤，通过换算取得	主要用于比较煤的质量，用于计算煤的灰分、硫分含量等
干燥无灰基	daf	可燃基	r	指完全不含水分和灰分（不包括可燃硫）的煤	主要用于了解和研究煤中的有机质
干燥无矿物质基	dmmf	有机基	j	指无水无灰无硫的煤	主要用于高硫煤的有机质研究

1. 煤的工业分析

煤的工业分析又叫技术分析或实用分析，它是评价煤质的基本依据。煤的工业分析包括测定煤的水分、灰分、挥发分和计算固定碳等四个项目。

1）水分（M）

煤含有水分，煤中水是非可燃成分，其含量的多少与煤的变质程度及外界条件等有关。水分随变质程度而变化，泥炭中水分最大，可达40%～50%；褐煤次之，约在10%～40%；烟煤含量较低，一般为1%～8%；无烟煤则又有增加的趋势，这是因为无烟煤中的孔隙增加的原因。

煤中水分按其结合状态可分为化合水和游离水两大类。化合水（又称结晶水）是与煤中矿物成分呈化合形态的水；游离水是煤的内部毛细管吸附成表面附着的水。游离水又分为外在水分（M_f）和内在水分（M_{inh}）。外在水分是附着煤的表面和被煤的表面大毛细管吸附的水；这种水在空气中干燥时很容易蒸发；内在水分是煤的内部小毛细管所吸附的水；在常温下它不能失去，只有加热到一定温度时才能失去。外在水分与内在水分之和称为全水分（M_t）。

煤中水分对工业利用有一定的影响。在运输中，它增加了运输成本；燃烧时，它降低了煤的发热量；贮存时，它可使煤碎裂，并加快氧化。但有时水分又变为有利，如煤中水分可作为加氢液化和加氢气化的供氢体。

2）灰分（A）

煤的灰分是指煤中所有可燃物完全燃烧，煤中矿物质在一定温度下发生一系列分解、化合等复杂反应后剩下的残留物，所以，称灰分产率更为确切些。煤中常见的矿物质主要包括粘土矿物、方解石、黄铁矿、石英及其它硫酸盐、氯化物和氟化物等微量成分。按灰分的高低，将煤分为6级（GB/T15224.1—94）：

级别名称	代号	灰分范围 A_d（%）
特低灰煤	SLA	≤5.00
低灰分煤	LA	5.01～10.00
低中灰煤	LMA	10.01～20.00
中灰分煤	MA	20.01～30.00
中高灰煤	MHA	30.01～40.00
高灰分煤	HA	40.01～50.00

灰分是煤中的有害物质，灰分越高，煤的质量越差。灰分降低发热量，增加运输成本，增多出渣量，降低焦炭质量；但煤灰渣也可作为一种资源开发利用。如将煤灰渣用作部分建材的原料；往煤的液态渣里喷入磷矿石，制成复合磷肥；可从煤灰中提取聚合铝、氯化铝及其它稀有元素等。

3）挥发分（V）

在隔绝空气的条件下，将煤在（900±10）℃温度下加热7min时，煤中的有机质和一部分矿物质就会分解成气体和液体（蒸汽状态）逸出，逸出物减去煤中的水分即为挥发分。因为挥发分不是煤中固有物质，而是煤在特定温度下的热分解产物，所以叫“挥发分产率”，而不叫“挥发分含量”。挥发分产率在一定程度上反映了煤中有机质的性质、煤的变质程度，因此它是目前我国煤炭分类的第一指标。

根据挥发分可判断煤的变质程度。一般泥炭的挥发分可高达70%，褐煤为40%～60%，烟煤为10%～50%，无烟煤小于10%。

4）固定碳（FC）

测定煤的挥发分时，剩下的不挥发物称为焦渣，焦渣减去灰分即为固定碳。所以，固定碳是煤在隔绝空气的高温加热条件下，煤中有机质分解的残余物（图5—3）。

2. 粘结性

冶金工业需要大量优质焦炭作为燃料和还原剂。焦炭必须具有一定的块度和机械强度，这就要求煤具有粘结性和结焦性。煤的粘结性是煤粒（一般直径小于0.2mm）在隔绝空气受热后，能否粘结其本身或惰性物质（即无粘结能力的物质）成焦块的性质。煤的结焦性是煤粒隔绝空气受热后，能否生成优质焦炭（即焦炭的强度和块度等性能符合冶金焦的要求）的性质。煤的粘结性强是煤的结焦性好的必要条件。即结焦性好的煤，其粘结性必然好；但粘结性好的煤，其结焦性不一定好。

煤的粘结性是评价炼焦用煤的主要指标，也是评价低温干馏用煤、气化用煤和动力用煤的指标之一。我国煤炭分类国家标准（见表5—9）对烟煤采用粘结性指数（G）、胶质层最大厚度（Y）及奥—阿膨胀度（b）三个指标进行细分类。

1）粘结指数（$G_{R.I}$或简记为G）

将1g煤样与5g标准无烟煤混合均匀，快速加热，所得焦炭在特制的转鼓中转磨，以测定焦炭的耐磨强度。这种方法的实质是用测得的焦炭耐磨强度指数表示煤样胶质体粘结惰性物质的能力。G值越大，表示煤的粘结性越强。

2）胶质层最大厚度（Y）

胶质层最大厚度的测定是模拟炼焦的工业条件的方法，将煤样放在胶质层测定仪的煤杯中，加热形成半焦层、胶质层和未软化的煤样三部分（图5—4），用探针定时测量煤杯中的胶质层厚度，通过作图以确定其最大值（Y值）、最终收缩度（X值）和体积变化曲线型。在这个过程中，煤的粘结性越强，其Y值也就越大。所以Y值也是反映煤的粘结性强弱的一个指标。

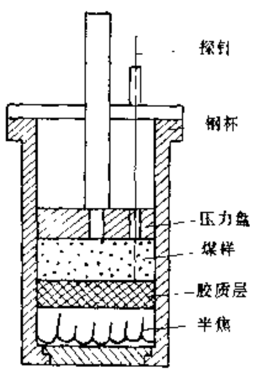


图5—4 测定胶质层厚度示意图

3）奥—阿膨胀度（b）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

曾称“奥—阿膨胀度”。将煤样按规定方法制成煤笔，放在一根标准口径的管子（膨胀管）内，其上放置一根能在管内自由滑动的钢杆（膨胀杆）。将上述装置放在专用电炉内，以3℃/min的升温速度进行加热，记录膨胀杆的位移曲线，以位移曲线的最大距离占煤笔原始长度的百分数表示煤样膨胀度（b）的大小。煤的性质不同，其膨胀的高低、快慢也不同。因此，b值不仅能反映烟煤胶质体的量，而且能反映胶质体的质，它能全面反映烟煤的粘结性。b值越大，煤的结焦性越强。

煤的粘结性和结焦性与煤的变质程度、煤岩成分、煤的氧化程度及煤中矿物质多少有密切关系。褐煤、无烟煤几乎没有粘结性，烟煤中以中变质的肥煤和焦煤的粘结性为最好。亮煤和镜煤的粘结性比丝炭、暗煤强。煤被氧化后，其粘结性减弱，有的甚至完全消失。煤中矿物质过高，其粘结性变差。

煤的粘结性是炼焦用煤的不可缺少的重要工艺性质。但对低温干馏、气化或燃烧用煤等工业，则要求煤的粘结性越低越好，有的甚至不需要粘结性。

3. 煤发热量（Q）

煤发热量是指单位质量的煤完全燃烧时所产生的热值。煤发热量是计算热平衡、耗煤量、热效率等的依据，也常作煤炭分类的一个重要指标（ISO、ASTM、GB等分类标准均采用）。在煤田地质勘探中，根据发热量（$Q_{gr,daf}$）的变化规律判断煤的风氧化程度，并以此作为确定风氧化带的划界参数。据煤发热量（$Q_{net,ar}$）将煤分为6级（GB/T15224.3—94）。

级别名称	代号	发热量范围 $Q_{net,ar}$（MJ/kg）
低热值煤	LQ	8.50～12.50
中低热值煤	MLQ	12.51～17.00
中热值煤	MQ	17.01～21.00
中高热值煤	MHQ	21.01～24.00
高热值煤	HQ	21.01～27.00
特高热值煤	SHQ	＞27.00

煤的发热量随变质程度的加深而变化。如表5—8所示，在焦煤以前，发热量是逐渐增加的；到焦煤阶段，发热量达到最高点，这主要是碳含量增高的原因；焦煤往后，由于氢含量减少太快，发热量又略有降低。

表5—8　煤的发热量和变质程度的关系

牌号	无烟煤	贫煤	贫、瘦煤	焦煤	气、肥煤	长焰煤	褐煤
V_{daf} %	＜10	＞10～15	＞15～20	＞20～25	＞30～50	＞37～50	＞40～65
$Q_{gr,ad}$ J/g	32200～36170	35330～36380	35540～36800	35750～37010	31990～37010	30520～34080	25088～30944

三、煤的分类

（一）按煤的煤化程度和工艺性能分类

我国煤炭资源丰富，煤种齐全。为了合理利用煤炭资源，特制定了新的煤炭分类国家标准（GB5751—86）（表5—9）。该标准的分类指标为：V_{daf}（干燥无灰基挥发分）、$G_{R.I}$（烟煤的粘结性指数）、Y（烟煤的胶质层最大厚度）、b（烟煤的奥—阿膨胀度）、H_{daf}（干燥

表 5—9 中国煤炭分类国家标准（1986 年 10 月 1 日起试行）

类别	代号	数码	分类指标						
			V_{daf}(%)	$G_{R.I}$	Y(mm)	b(%)	H_{daf}**(%)	P_M***(%)	$Q_{gr,maf}$(MJ/kg)
无烟煤	WY	01 02 03	≤3.5 >3.5～6.5 >6.5～10.0				≤2.0 >2.0～3.0 >3.0		
贫煤	PM	11	>10.0～20.0	≤5					
贫瘦煤	PS	12	>10.0～20.0	>5～20					
瘦煤	SM	13 14	>10.0～20.0 >10.0～28.0	>20～50 >50～65					
焦煤	JM	15 24 25	>10.0～28.0 >20.0～28.0 >20.0～28.0	>65 >50～65 >65	≤25.0 ≤25.0	(≤150) (≤150)			
1/3 焦煤	1/3JM	35	>28.0～37.0	>65	≤25.0	(≤220)			
肥煤	FM	16 26 36	>10.0～20.0 >20.0～28.0 >28.0～37.0	>85* >85* >85*	>25.0 >25.0 >25.0	(>150) (>150) (>220)			
气肥煤	QF	46	>37.0	>85*	>25.0	(>220)			
气煤	QM	34 43 44 45	>28.0～37.0 >37.0 >37.0 >37.0	>50～65 >35～50 >50～65 >65	≤25.0	(≤220)			
1/2 中粘煤	1/2ZN	23 33	>20.0～28.0 >28.0～37.0	>30～50 >30～50					
弱粘煤	RN	22 32	>20.0～28.0 >28.0～37.0	>5～30 >5～30					
不粘煤	BN	21 31	>20.0～28.0 >28.0～37.0	≤5 ≤5					
长焰煤	CY	41 42	>37.0 >37.0	≤5 >5～35				>50	
褐煤	HM	51 52	>37.0 >37.0					≤30 >30～50	 ≤24

注：* 当 $G_{R.I}$>85 时，再用 Y 值或 b 值来区分肥煤、气肥煤与其它煤类的界线；当 Y>25.0mm 时，如 V_{daf}≤37.0%，则划分为肥煤；如 Y 值≤25.0mm，则根据其 V_{daf}的大小而划分为相应的其它煤类。当用 b 值来划分肥煤、气肥煤与其它煤类的界线时，如 V_{daf}≤28.0%，暂定 b 值>150%的为肥煤，如 V_{daf}>28.0%，则暂定 b 值>220%的为肥煤或气肥煤（V_{daf}>37%时）。当按 b 值划分的类别与 Y 值划分的类别有矛盾时，以 Y 值划分的为准。

** 如用 V_{daf}和 H_{daf}划分的小类有矛盾时，则以 H_{daf}划分的小类为准。在已确定了无烟煤小类的生产厂、矿的日常检测中，可以只按 V_{daf}来分类；在煤田地质勘探中，对新区确定小类或生产矿、厂需要重新核定小类时，应同时测定 V_{daf}和 H_{daf}值，按规定确定出小类。

*** 对 V_{daf}>37.0%、$G_{R.I}$≤5 的煤，再以 P_M 来确定其为长焰煤或褐煤。如 P_M>30%～50%，再测 $Q_{gr,maf}$，如其值>24MJ/kg，则应划分为长焰煤。（地质勘探煤样，对 V_{daf}>37%、焦渣特征为 1～2 号的煤在不压饼的条件下测定），再用 P_M 来区分烟煤和褐煤。

说明：分类用煤样，除 A_d≤10.0%的采用原煤样外，凡 A_d>10.0%的各种煤样应采用 $ZnCl_2$ 重液选后的浮煤（对易泥化的低煤化度褐煤，可采用灰分尽可能低的原煤样）。详见 GB474—83 煤样的制备方法。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

无灰基氢含量）、P_M（煤样的透光率）、$Q_{gr,maf}$（煤的恒湿无灰基高位发热量）。为了适合计算机的应用，该标准还采用数码编号表示煤种。数码编号的十位数表示挥发分的大小，数码越小，挥发分越少。数码编号的个位数对烟煤表示粘结性，数码越小，粘结性越差；对无烟煤和褐煤则表示煤化程度，数码越小，煤化程度越高。

按照新的煤炭分类国家标准，将我国煤炭分为14类，其主要煤种的基本特征及主要用途如下。

1. 无烟煤（WY）

煤化程度最高的煤。颜色为钢灰色，条痕为深黑～灰黑色，似金属光泽，硬度和密度在煤中最大。挥发分低，固定碳高，燃点高，火力耐久。无烟煤是良好的民用燃料，也可作为化工原料，某些低硫、低灰的无烟煤还可以用来制作电极等。

2. 贫煤（PM）

煤化程度最高、挥发分最低的烟煤。颜色为灰黑色，条痕为黑色，强玻璃光泽或金刚光泽。燃烧时火焰短，但热值较高，耐烧，一般不粘结或微弱粘结，加热时不产生胶质体，不结焦，故称为贫煤。贫煤主要作为动力用煤或民用煤。

3. 瘦煤（SM）

煤化程度较高的烟煤。颜色、条痕均为黑色，强玻璃光泽。挥发分低，粘结性中等，能产生相当数量的胶质体。单独炼焦时能得到块度大、裂纹少、抗碎强度好的焦炭，但耐磨强度较差，作为炼焦配煤效果较好。还可作为动力掺烧燃料用。

4. 焦煤（JM）

中等煤化程度烟煤。颜色为深黑色，条痕为黑带棕色，强玻璃光泽。挥发分稍低，中等～强粘结性，能产生热稳定性很高的胶质体。单独炼焦时能获得块度大、裂纹少、抗碎强度高、耐磨强度高的焦炭，所以叫焦煤。但单独炼焦时，膨胀压力大，推焦困难。一般以作为配煤炼焦使用较好。

5. 肥煤（FM）

中等煤化程度烟煤。颜色为深黑色，条痕为黑带棕色，玻璃光泽。挥发分中～高，粘结性最强，能产生大量的胶质体，所以叫肥煤。单独炼焦时能获得熔融性好、强度高、耐磨强度比焦煤炼出的焦炭还好的焦炭。肥煤是配煤炼焦中的基础煤。

6. 气煤（QM）

低煤化程度烟煤。颜色为黑色，条痕为棕黑色，弱玻璃～强沥青光泽。加热时能产生大量的气体和焦油，所以叫气煤。粘结性较强，也可单独结焦，焦炭多呈细长条而易碎，并有较多的纵裂纹，其抗碎强度和耐磨强度均较其它炼焦煤差。气煤是制造煤气的良好原料。

7. 长焰煤（CY）

煤化程度最低的烟煤。颜色为褐黑色，条痕为深棕色，沥青光泽。燃烧时能发出长长的火焰而得名。粘结性差，只能作为动力用煤或气化用煤。

8. 褐煤（HM）

颜色为褐色，也有的呈褐黑或黑色，但条痕均为褐色，故称褐煤。光泽暗淡，比重轻，碳含量低，水分大，无粘结性，含有少量的腐植酸。主要作为化工、气化及民用煤。

（二）按煤的综合利用分类

1. 炼焦用煤

炼焦是将煤放在干馏炉中，在隔绝空气的条件下加热，随着温度的提高（最终达1000℃左右），煤中有机质开始分解，其中挥发性物质逸出，成为焦炉煤气和煤焦油，残留下的不挥发性产物即为焦炭。

焦炭是焦化工业的主要产品，产量占焦化产品的78%，是冶金工业的主要燃料和还原剂，主要用于高炉炼铁和铸造等方面，也可用来制造氮肥和电石。炼焦油只占焦化产品的3%～4%，但它的成分复杂，其化合物有万种以上。这些化合物可以生产化肥、农药、合成纤维、合成橡胶、塑料、油漆、染料、医药、炸药等产品。焦炉煤气在焦化产品中约占18%左右，主要用作平炉炼钢的燃料、焦炉本身的燃料，或民用煤气，同时也是重要的化工原料。

2. 气化用煤

煤的气化是以氧、水、二氧化碳、氢等为气化介质，经过热化学处理，把煤转变为各种用途的煤气。煤气化后所得的气体产物可作燃料。目前我国主要是用煤进行干馏生产煤气作为城市气体燃料。不少先进国家已成功地将埋藏很深的煤层进行地下气化，我国个别地方也在试验中。

3. 低温干馏用煤

低温干馏是煤在500～600℃左右的温度下进行干馏，以制取低温焦油，同时也生产焦和低温焦炉煤气。焦油主要用来制造高级液体燃料及化工产品的原料。

4. 加氢液化用煤

加氢液化是将煤、催化剂和重油混合在一起，在高温高压下使煤中有机质破坏，与氢作用转化成低分子液态和气态产物，进一步加工即可得到汽油、柴油等燃料。这是一种用煤制造人造石油的新技术和新工艺，对缺油国家来说意义尤为重大。

5. 燃烧用煤

任何煤都可作为工业和民用燃料，这是利用价值最低的一种用途，所以一般都使用比较低劣的煤。燃烧用煤主要有火力发电、机车、船舶其它各种锅炉及民用。

总之，煤的用途还有许多。随着近代科学技术的高速发展，新工艺、新方法的广泛应用，煤的综合利用将会进入一个崭新的阶段。

第三节　含煤岩系和煤田

一、含煤岩系及其类型

（一）含煤岩系的概念

含煤岩系是指一套含有煤层并且在成因上有联系的沉积岩系，简称为煤系，其同义词有含煤地层、含煤建造。

含煤岩系的最大特征是含有煤层。凡是在沉积作用过程中，只要成煤条件具备，就可以形成煤系。含煤岩系不是区域性的地层单位，其界线不一定与地层划分相吻合。有的煤系界线是跨地质时代的，如我国华北的石炭—二叠纪煤系，就跨越了两个地质时代。

（二）含煤岩系类型

不论是陆相地层或是海陆交替相地层，都有可能形成含煤岩系。但在含煤岩系形成的过程中，由于自然地理环境和构造运动的差异，导致各个煤系在厚度、岩性、含煤层数、结

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

构等方面的不同。根据成煤古地理环境，将含煤岩类分为近海型和内陆型两大类。

1. 近海型含煤岩系

亦称海陆交替相含煤岩系。这类煤系形成于近海地区，地形简单、平坦、广阔，因此容易发生大范围的海侵海退。海侵时形成海相地层，海退时形成陆相地层，使得海相、陆相交替出现。煤系分布范围广，横向上岩性、岩相变化不大，煤层层位比较稳定，容易对比。煤系中碎屑沉积物成分比较单一，分选性和磨圆度较好，粒度较细。煤系厚度不大，煤层的厚度也不大，但煤层数目较多，作为标志层的石灰岩层数也多。煤层结构较为简单，岩石夹层不多。煤层中常含黄铁矿结核，因此含硫较高。例如我国华北的石炭—二叠纪煤系即为近海型煤系（图 5—5）。

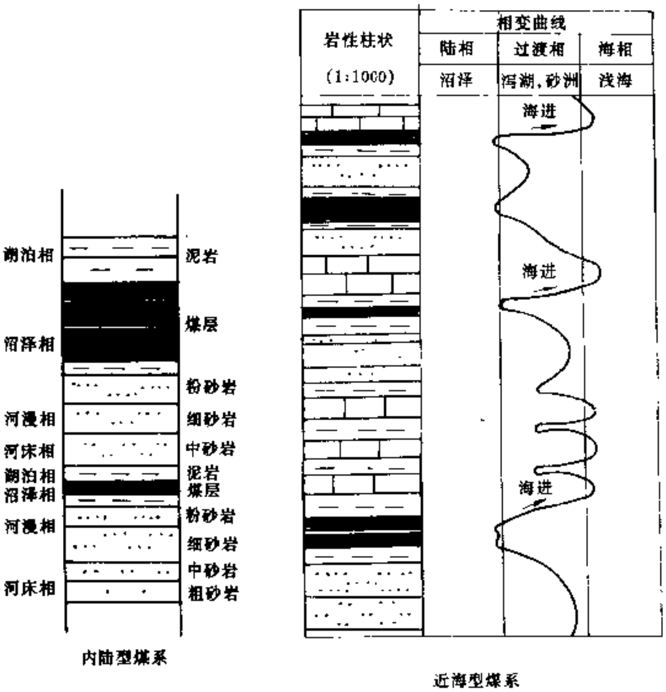


图 5—5 煤系类型柱状示意图

2. 内陆型含煤岩系

亦称陆相含煤岩系。这类煤系形成于距海较远的地区，往往是在内陆的一些小盆地中发育而成的。所以煤系中没有海相地层，全为陆相地层（图 5—5）。由于沉积区较小，地形复杂，因此岩性、岩相在横向上变化较大，煤层不易对比。碎屑物质未经长距离搬运，碎屑颗粒较粗，分选性、磨圆度均较差。煤层数目不多，但厚度较大，厚度变化也大，常分叉、尖灭。煤层中岩石夹层较多，煤层结构复杂。如我国新疆的侏罗纪煤系即为内陆型煤系。

二、含煤岩系的组成

含煤岩系由煤层和许多其它沉积岩层组成。与煤矿生产关系最为密切的主要是煤层及

其顶板、底板，还有标志层。

（一）煤层

煤像其它沉积岩层一样，一般呈层状分布。不同的煤层其结构、厚度及稳定性等有所不同。

1. 煤层结构

根据煤层中有无稳定的岩石夹层（夹矸），将煤层分为两种结构类型。

(1) 简单结构煤层　煤层中不含稳定的呈层状的岩石夹层，但含有呈透镜体或结核分布的矿物质（图5—6）。一般厚度较小的煤层往往结构简单，说明煤层形成时沼泽中植物遗体堆积是连续的。

(2) 复杂结构煤层　煤层中常夹有稳定的呈层状的岩石夹层，少者1～2层，多者十几层（图5—6）。这类煤层反映当时地壳沉降时快时慢，导致沼泽的发育遭到破坏，也有可能因气候变化，雨量增多，过量泥沙被搬运到沼泽，从而使沼泽中植物物质的堆积发生间歇或多次间歇。岩石夹层的岩性最常见的有碳质泥岩、碳质粉砂岩。岩石夹层的厚度一般从几厘米到数十厘米不等。

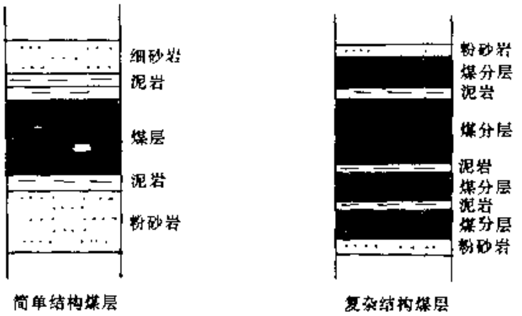


图5—6　煤层结构示意图

煤层中如有较多的或较厚的岩石夹层，往往不利于机组采煤，同时也影响煤质，增加煤的含矸率。但有的岩石夹层是优质的陶瓷原料或耐火材料等，其经济价值甚至高于煤层本身。

2. 煤层厚度

煤层的顶板与底板之间的垂直距离叫煤层厚度。对复杂结构的煤层，则有总厚度和有益厚度之分。总厚度是指煤层顶面至底面之间全部煤分层与岩石夹层之和；有益厚度是指煤层顶面至底面之间各煤分层之和。根据我国有关部门的规定，一般地区煤层地下开采的最低可采厚度*标准，见表5—10；露天开采最低可采厚度*为0.5m；缺煤地区的地下开采最低可采厚度*分别比相应标准降低0.1m即可。

3. 煤层的分类

表5—10　一般地区煤层最低可采厚度标准（地下开采）

煤　种	倾　角		
	＜25°	25°～45°	＞45°
炼焦用煤	0.60m	0.50m	0.40m
非炼焦用煤	0.70m	0.60m	0.50m
褐　煤	0.80m	0.70m	0.60m

* 均为暂不能利用储量的最低可采厚度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

煤层倾角、厚度及其变化情况（即煤层稳定性）对采矿技术影响很大，所以在采矿工作中常将煤层据此加以分类。

（1）按煤层倾角分类。

煤　层	露天开采	地下开采
近水平煤层	<5°	<8°
缓斜煤层（又称缓倾斜煤层）	5°～10°	8°～25°
中斜煤层（又称倾斜煤层）	10°～45°	25°～45°
急斜煤层（又称急倾斜煤层）	>45°	>45°

（2）按煤层厚度分类。

煤　层	露天开采	地下开采
薄煤层	<3.5m	<1.3m
中厚煤层	3.5～10m	1.3～3.5m
厚煤层	>10m	>3.5m

（3）按煤层稳定性分类。

煤层稳定性指煤层形态、厚度、结构和可采性的变化程度。按照矿区（或井田）的煤层变化程度（即稳定程度）划分为四类。

稳定煤层　煤层厚度变化很小，规律明显，结构简单至较简单，全区可采或基本全区可采。

较稳定煤层　煤层厚度有一定变化，但规律较明显，结构简单至复杂，全区可采或大部分可采，可采范围内煤层厚度变化不大。

不稳定煤层　煤层厚度变化较大，无明显规律，结构复杂至极复杂。主要包括①煤层厚度变化很大，具突然增厚、变薄现象，全区可采或大部分可采；②煤层呈串珠状，藕节状，一般连续，局部可采，可采边界线不规则；③难以进行分层对比，但可进行层组对比的复煤层。

极不稳定煤层　煤层厚度变化极大，呈透镜状、鸡窝状、一般不连续，很难找出规律，可采块段分布零星；或为无法进行分层对比，且层组对比也有困难的复煤层。

（二）煤层的顶板、底板

1. 顶板

顶板指位于煤层上方一定距离的岩层。根据顶板岩层岩性、厚度以及采煤时顶板变形特征和垮落难易程度，将顶板分为伪顶，直接顶、基本顶三种（图5－7）。

（1）伪顶　是指直接覆盖在煤层之上的薄层岩层。岩性多为碳质页岩或碳质泥岩，厚度不大，一般为几厘米至几十厘米。它极易垮塌，常随采随落，所以它都混杂在原煤里，增加了煤的含矸率。

（2）直接顶　位于伪顶之上。岩性多为粉砂岩或泥岩，厚度为1～2m左右。它不像伪顶那样容易垮塌，但采煤回柱后一般能自行垮落，有的经人工放顶后也较易垮落。直接顶垮落后都充填在采空区内。

（3）基本顶　又称“老顶”。位于直接顶之上。岩性多为砂岩或石灰岩，一般厚度较大，强度也大。基本顶一般采煤后长时期内不易自行垮塌，只发生缓慢下沉。

值得注意的是，并不是每个煤层都可分出上述三种顶板。有的煤层可能没有伪顶，有

的煤层可能伪顶、直接顶都没有，煤层之上直接覆盖基本顶，如山东肥城矿区的8号煤层之上直接为石灰岩基本顶。

2. 底板

底板指位于煤层下方一定距离的岩层。底板分为直接底和老底两种（图5—7）。

（1）直接底　指煤层之下与煤层直接接触的岩层。它往往是当初沼泽中生长植物的土壤，富含根须化石，所以又称为根土岩。岩性以碳质泥岩最为常见，厚度不大，常为几十厘米。

（2）老底　指位于直接底之下的岩层。其岩性多为粉砂岩或砂岩，厚度较大。

有的煤矿往往将一些永久性巷道布置在老底中，这样有利于巷道的维护。

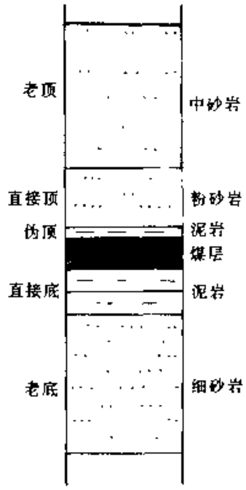


图5—7　煤层顶板、底板示意图

（三）煤系中的标志层

煤系中常有一些岩层，其岩性比较特殊，容易识别，层位稳定或分布规律明显，它们与煤层或某些地质界线间距比较固定，这样的岩层可以用作寻找或对比煤层的标志层。如华北石炭二叠纪煤系中常以石灰岩层作为标志。其它作为标志的还有砾岩、成分或颜色特殊的砂岩、铝土岩等。

三、煤田、聚煤期及聚煤区

（一）煤田、煤产地的概念

煤田是指同一地质时期形成，并大致连续发育的含煤岩系分布区。面积一般由几十到几百平方千米。如山西大同宁武煤田、辽宁阜新煤田、山东鲁西煤田等。

煤产地是指受后期大地构造变动和剥蚀作用而分隔开的一些单独的含煤岩系分布区，或面积和煤炭储量均较小的煤田。我国煤炭工业部门习惯于在煤田内划分"煤矿区"，其涵义与煤产地近似，是指统一规划和开发的煤田或其一部分。如山西阳泉矿区、山东兖州矿区。

矿田是煤田内划归一个矿山开采的部分，地下开采的矿田又称井田。一般一个井田即为一个煤矿。如山东兖州矿区就分为南屯煤矿、东滩煤矿、鲍店煤矿、兴隆庄煤矿等。

（二）中国的主要聚煤期

聚煤期又称成煤期，指在地质历史中，有煤炭资源形成的地质时期。

地史上聚煤盆地的形成受成煤作用、聚煤期古构造、古地理、古气候和古植物诸因素的综合影响，因而各时期的成煤作用的发育程度是不均衡的。在我国成煤作用较强的三个时期是：石炭——二叠纪、三叠——侏罗纪、第三纪。

（三）中国的聚煤区

聚煤区是指在地史中有聚煤作用，且其中煤田、含煤区的形成条件具有一定的共性，其边界与大地构造基本吻合的广大地区。

我国地史上三个主要聚煤期形成的煤田遍布各地，为研究和工作方便，以大型地质构造带为界，划分了五个聚煤区（图5—8）。

1. 东北聚煤区

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

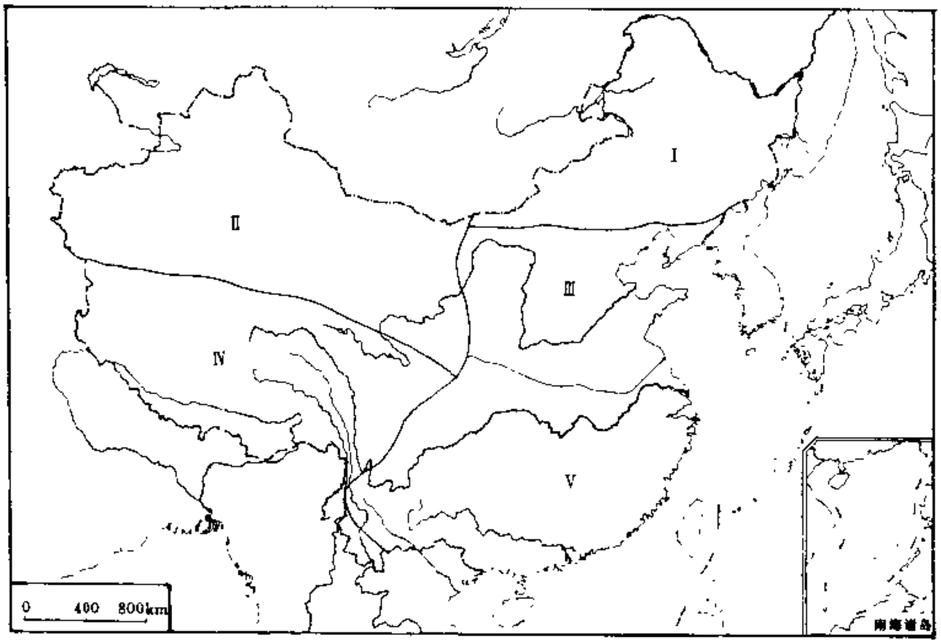


图 5—8 中国聚煤区划分示意图

I—东北聚煤区；II—西北聚煤区；III—华北聚煤区；IV—滇藏聚煤区；V—华南聚煤区

又称东北内蒙古晚侏罗早白垩世聚煤区。该聚煤区位于阴山构造带以北，包括内蒙古东部，黑龙江全部，吉林大部和辽宁北部的广大地区。主要成煤时代为晚侏罗世到早白垩世，其次为早第三纪。晚侏罗世成煤作用最强，煤田分布广，主要分布在大兴安岭西侧，松辽盆地及阴山构造带北缘。早、中侏罗世煤田主要分布于该区的南部。早第三纪煤田主要沿华夏式断裂及阴山构造带分布。该区煤炭资源量约占中国煤炭总资源量的 8%。

该区目前探明和开采的煤田（或煤产地）主要有：鸡西、双鸭山、鹤岗、和龙、延吉、蛟河、扎赉若尔、牙克石、白音华、元宝山、北票、阜新、铁法、抚顺、沈北、舒兰、依兰、珲春等。

2. 西北聚煤区

又称西北早、中侏罗世聚煤区。该区位于贺兰山—六盘山一线以西，昆仑山—秦岭一线以北的广大地区，包括新疆全部，甘肃大部，青海北部，宁夏和内蒙古西部。成煤时代为石炭纪和早、中侏罗世，以早、中侏罗世成煤作用最强，尤其是新疆境内含煤性最好。

截止目前，由于交通和经济条件所限，该区内年产量在 150 万 t 以上的矿区寥寥无几，只有窑街、靖远和乌鲁木齐等少数几个，其余矿区年产量均在 100 万 t 以下。但该区煤炭资源量巨大，约占全国煤炭总资源量的 33%。

3. 华北聚煤区

又称华北石炭二叠纪聚煤区，这是我国最重要的聚煤区（图 5—9）。其范围是贺兰山构造带以东，秦岭构造带以北，阴山构造带以南的广大地区，包括山西、山东、河南全部，甘肃、宁夏东部，内蒙古、辽宁、吉林南部，陕西、河北大部，以及苏北、皖北。

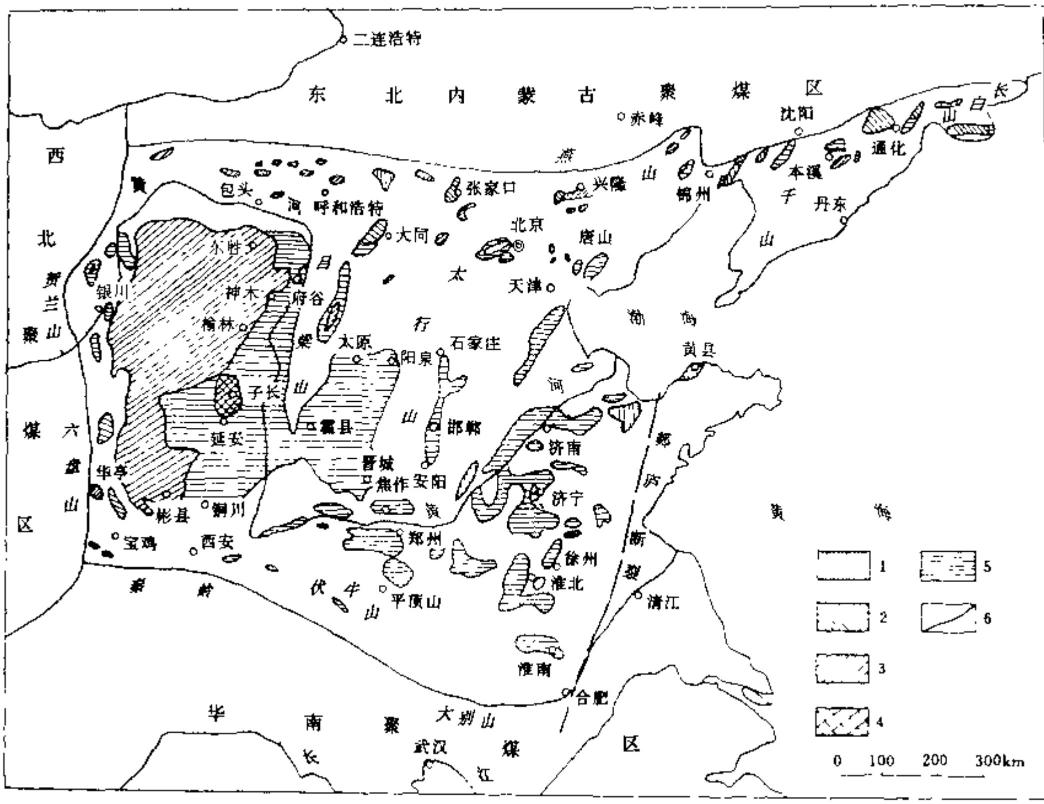


图 5—9 华北石炭二叠纪聚煤区煤田分布示意图

1—第三纪煤田；2—晚侏罗世煤田；3—早、中侏罗世煤田；4—晚三叠世煤田；

5—石炭二叠纪煤田；6—聚煤区界线

该区内石炭二叠纪煤田分布最广、储量最多，占全区储量的80%以上。这个地质时代的煤田有山西的沁水、大同、宁武、太原西山、平朔、阳泉、霍县、黄河东、运城、潞安、晋城；山东的济宁、兖州、淄博、新汶、莱芜、肥城、枣庄；河南的平顶山、焦作、鹤壁、安阳、永城、禹县、密县；河北的开滦、兴隆、峰峰、邢台、井陉；安徽的淮南、淮北；江苏的徐州、丰沛；辽宁的本溪、沈南、南票；吉林的浑江、长白；陕西的府谷、吴堡、渭北；宁夏的贺兰山及内蒙古桌子山、准格尔等。其次为早、中侏罗世煤田，主要分布在鄂尔多斯盆地、燕山南麓、内蒙古大青山、豫西、山东、辽宁等地。其中以内蒙古东胜，陕西神木、榆林、黄陵、彬县最为著称。尤其是东胜—神木煤田，储量之大，煤质之好，为世界罕见！早第三纪煤田有山东黄县、山西繁峙等。

该区目前年产500万t以上的矿区有大同、开滦、平顶山、淮北、阳泉、徐州、太原西山、峰峰、淮南、义马、铜川、潞安、新汶、枣庄、汾西、京西、晋城、石炭井、通化、兖州。它们的年产量占全国的50%以上。该区煤炭资源量约占全国煤炭总资源量的53%。全国石炭二叠纪煤炭资源量的85%在该区内。

4. 滇藏聚煤区

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

又称滇藏中、新生代聚煤区。该区位于昆仑山系以南，龙门山——大雪山——哀牢山一线以西，包括西藏全境，青海南部，川西和滇西地区。该区主要成煤时代为二叠世和晚第三纪，早石炭世、晚三叠世和晚白垩世含煤岩系虽有分布，但含煤性差。

该区由于交通及经济条件差，煤炭工业刚刚起步，仅有一些小型煤矿开采。滇藏聚煤区地质研究程度最低，煤炭资源贫乏，约占中国煤炭总资源量的0.1%。

5. 华南聚煤区

又称华南晚二叠世聚煤区。该区位于秦岭、大别山以南，龙门山、大雪山、哀牢山以东，包括贵州、广西、广东、海南、湖南、江西、浙江、福建全部、云南、四川、湖北大部，以及苏皖两省南部，其范围跨越十三个省（区）。

该区成煤时代较多，早石炭世、早二叠世、晚二叠世、晚三叠世、早侏罗世及晚第三纪均有煤系生成。其中以早二叠世晚期至晚二叠世成煤作用最强，主要煤田有云南宣威，贵州六盘水、织金、纳雍，四川南桐、天府中梁山、广旺，湖南涟邵、郴耒，湖北黄石，江西丰城、乐平，广东曲仁、梅县，广西合山，福建天湖山、永安，浙江长兴，皖南宣泾等。早二叠世晚期至晚二叠世煤系含煤性普遍较好，占全区储量的60%左右。其次为晚三叠世煤田，主要有四川渡口、永荣、威远，云南一平浪，广东南岭、马安，湖南资兴，湖北秭归、荆当，江西萍乡、攸洛，福建邵武等煤田，其中以云南、四川一带含煤性较好，储量较多。第三纪煤田与晚三叠世煤田储量相当，主要煤田有云南小龙潭、昭通、先锋，广西百色、南宁、合浦等。该聚煤区除贵州西部煤田较大外，主要是中、小型煤田。全区煤炭资源量约占全国煤炭资源量的6%。

上述五个聚煤区，按储量多少排序，华北聚煤区居首位，它占全国储量的2/5，以下依次为西北聚煤区（约占全国储量的1/3）、东北聚煤区、华南聚煤区、滇藏聚煤区。

第六章　影响煤矿生产的主要地质因素

影响煤矿生产的地质因素很多，有些地质因素的影响具有普遍性，例如地质构造、煤层厚度变化、煤层顶底板条件等；有些地质因素的影响只在部分煤矿比较严重，例如岩浆侵入煤层、喀斯特陷落、矿井水及矿井瓦斯、地压和地热等。在一个煤矿内部，各种地质因素的影响也是不均一的，有的区段地质条件较为简单，而有的区段地质条件较为复杂。煤矿工程技术人员必须了解影响煤矿生产的各种地质因素，研究其规律性及变化特点．在设计和生产中采取必要的防范措施和处理方法，把地质因素对煤矿生产的不利影响减至最低程度。

第一节　煤层厚度变化

一、煤层厚度变化的原因及变化特征

煤层厚度变化的原因，可以分为原生变化和后生变化两大类。

（一）原生变化

煤层厚度原生变化是指泥炭层在接受上部沉积物覆盖以前，由于地壳运动、沉积环境变迁等各种地质因素的影响而引起的煤层形态和厚度变化。原生变化又包括地壳不均衡沉降（图6—1）、泥炭沼泽古地形影响（图6—2）、河流同生冲蚀（图6—3），海水同生冲蚀（图6—4）四种原因。以上原因造成的煤厚变化特征参阅表6－1。

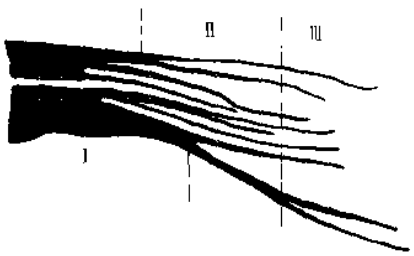


图6—1　地壳不均衡沉降造成煤厚变化示意图



图6—2　泥炭沼泽基底不平造成煤厚变化示意图

（二）后生变化

煤层厚度后生变化是指煤层被沉积物覆盖以后，或者整个煤系地层形成以后，由于河流冲蚀（图6—5）、构造变动（图6—6）、岩浆侵入（图6—7）、喀斯特陷落（图6—8）等各种地质因素的影响而引起煤层形态和厚度变化。

以上原因造成的煤层变化特征参阅表6－1。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

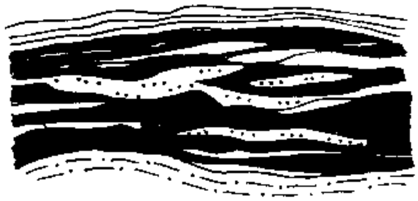


图 6—3　河流同生冲蚀造成煤厚变化示意图

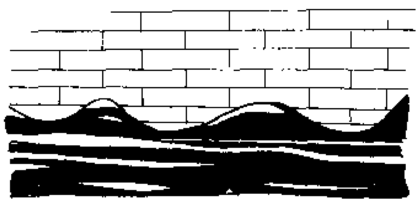


图 6-4　海水同生冲蚀造成煤厚变化示意图

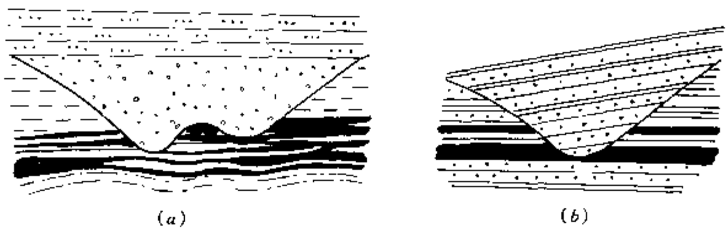


图 6—5　河流冲蚀造成煤厚后生变化示意图

(a) 煤系内的后生冲蚀；(b) 煤系形成后的后生冲蚀



图 6—6　构造变动引起煤厚变化示意图

(a) 褶皱引起煤厚变化；(b) 断层引起煤厚变化

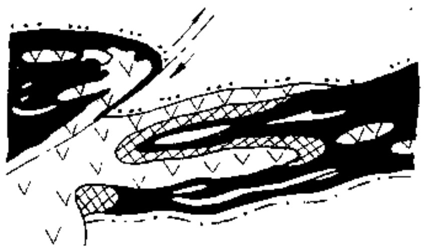


图 6—7　岩浆侵入煤层引起煤厚变化示意图

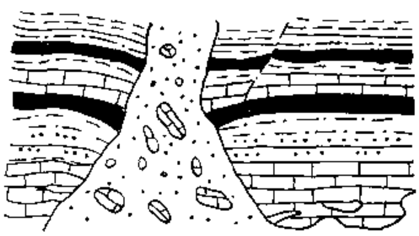


图 6- 8　喀斯特陷落引起煤厚变化示意图

表 6—1　各种成因的煤层变化地质特征简表

地质特征	地壳不均衡沉降	沉积环境和古地形	河流同生冲蚀	海水同生冲蚀	河流后生冲蚀	地质构造变动	岩浆侵入活动	喀斯特陷落破坏
煤层形态	呈多层状分叉、变薄、尖灭，单层状楔形变化，双层状楔形分叉、合并	呈层状，似层状、透镜状、串珠状及不规则的“煤包”状	平面上呈现为宽度不大的弯曲条形薄化带	煤层层面上出现大小不一的凹坑、槽沟，或在广阔范围内冲蚀成“残丘”、“煤岛”	平面呈现较宽阔的条带状，或分枝状的冲蚀薄化带	煤层增厚与变薄，呈带状相间，延展方向与构造线方向一致	煤层被岩浆侵入后残存煤体的形态极其复杂，呈层状、似层状或不规则状	煤层在平面上出现大小不一的环形无煤区
煤层厚度	由上百米、几十米到尖灭，其变化有一定方向性和分带性	煤层增厚、变薄尖灭，变化幅度大，间断不定，分布不规则	仅在出现透镜状冲蚀带岩体的部位，煤层相对变薄	煤层薄化程度不一，规模大，范围大	薄化规模较大，常有定向分布的薄化区或无煤带	一般是褶皱轴部增厚，翼部变薄，断层逆推增厚，引张变薄	厚度变化显著，变化程度随侵入体大小、形态和侵入部位而异	煤厚仅在垂直方向上呈柱状陷落破坏
煤层结构	厚煤层结构复杂，夹石层数与厚度具有方向性变化	煤层增厚部分结构一般比较复杂	局部夹石层增多，夹石为砂质、粉砂质岩	煤层上部各煤分层和各夹石层呈对称性间断	煤分层和夹石层被冲蚀岩体拦截破坏	结构受挤压错动，煤层理不清，出现层间揉皱和滑动镜面	煤层原始结构被侵入岩体破坏，或薄层状侵入体使结构复杂，夹石增多	沿陷落柱边缘张裂破碎
煤层顶底板	顶板的岩性、岩相变化比较明显	底板或基底岩层不规则凹凸起伏，局部产状与顶板不一致	煤层内的冲蚀岩体与煤层有共同的顶板	冲蚀顶板常为灰岩或海相砂岩	煤层正常顶板被冲蚀破坏为河床相砂砾岩所替代	顶底板常呈协调或不协调褶皱、脆性或弹塑性断裂，产状变化大	顶底板被侵入岩穿插破坏，也有顺层侵入而成为煤层顶底板的	陷落柱周围顶底板产状异常，向塌陷中心倾伏，小断层增多，张裂隙发育
煤岩层接触关系	一般呈现为沉积过渡的正常接触	煤层下部各煤分层、夹石层被底板拦截，并向底板凸起方向超复尖灭	冲蚀带岩体与煤层接触处镶嵌咬合	冲蚀岩性常为直接顶板、形似冲蚀坑外模，复合于煤层上	冲蚀面凹凸不平，犬牙交错，冲蚀带边缘小断层比较发育	煤层常挤压贯入顶底板，或顶底板错断压入煤层	随侵入体而异，常呈似层状、条带状、透镜状、串珠状、指掌状等侵入接触	陷落柱与煤层接触面为环形弯曲面，陷落体与煤层破裂面呈不规整接触
煤质	在区域性范围内有不同变质程度的带状分布现象	无影响	煤层灰分略有提高	煤光泽变暗，灰分、硫分也有增加	冲蚀部分煤质疏松，光泽变暗，灰分增高	煤呈破碎的粒状、鳞片状、粉末状，光泽变暗，灰分增高	遭受接触变质，具有分带现象，变质程度由低到高，直至天然焦	陷落柱边缘煤被氧化，光泽变暗，硬度降低，灰分增加

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

二、煤层厚度变化对煤矿生产的影响

煤层厚度变化对煤矿生产的影响主要表现在四个方面。

1. 影响采掘部署

煤厚变化直接影响到开采设计和采掘部署。例如原为分层开采的厚煤层，由于煤层变薄，只能改为单层开采。原为一次采全厚的煤层，由于煤层增厚必须改为分层开采。这样就需要重新调整巷道布置。又如在已开拓区内，由于有大片煤层变薄甚至出现无煤区，使部分区段不可采，需要重新设计采区和工作面。

2. 影响计划生产

采煤生产是多工序按计划连续作业，如果回采工作面内煤层厚度变薄，会打乱原来的工作计划，使工作面提前结束，造成采掘失调，工作面接续紧张。例如某矿 C_{13}煤层的一个工作面，根据巷道揭露的煤厚均在 6m 以上，计划分两个分层回采（图 6—9*a*），由于采上分层时未探清煤厚，当掘下分层切割眼时才发现煤层局部变薄为 0.4m。后退 15m 另开切眼，煤层仍不可采。再后退 40m，巷道穿过变薄带至上风巷，证实工作面中部为一大面积变薄带。结果被迫改变计划，整个下分层只采出两小块煤层，使该工作面原定生产计划严重受到影响（图 6—9*b*）。

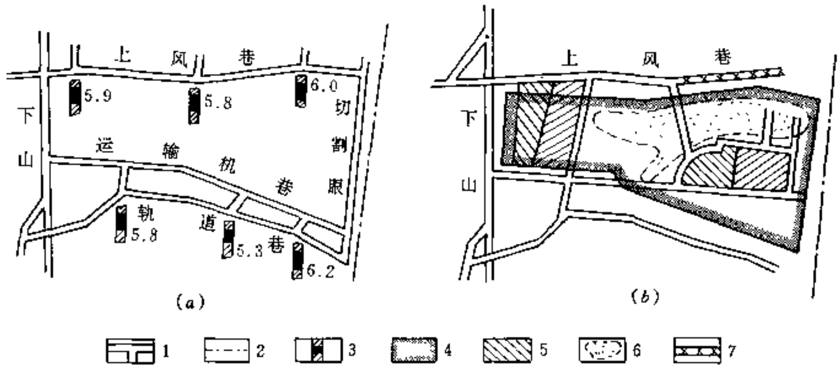


图 6—9 某矿未探清煤厚而影响生产计划示意图

1—巷道；2—边界线；3—煤层小柱状；4 上分层回采范围；

5—下分层回采范围；6—薄煤带；7- 报废巷道

综合机械化采煤对煤厚稳定程度的要求更高。如果煤层变薄至小于液压支架的最小高度时，需要增加破顶或破底工序，影响生产效率，甚至会因煤层变薄使工作面中断生产。

我国南方一些煤矿的煤层极不稳定，厚度变化极大，掘进中经常出现厚煤层很快变成煤线，致使很难布置出一个较完整的工作面，只能是边掘边探，边探边掘，生产效率低下。

3. 掘进率增高

为探明煤厚变化，必需布置一些专门探巷。由于煤层分叉变薄，可能使巷道掘进到叉尖而造成废巷。另外，对煤厚变化原因判断失误也可能造成废巷。以上种种都会增加巷道

掘进的数量，使掘进率增高。

4. 回采率降低

煤层厚度变化大，常造成回采工作中的面积损失和厚度损失，降低了回采率。

三、煤层厚度变化的研究和处理

（一）煤层厚度变化的观测与探测

1. 煤层的观测

1）煤层观测内容

在煤层观测点处，应尽量全面地观测、收集煤层的各种资料。包括：煤层厚度、煤层结构、煤岩煤质、煤层含水性及煤层顶底板等，并测量煤层产状。

2）煤层的观测方法

通常煤层的观测工作是和井巷地质编录一同进行，其观测要点如下：

(1) 在能够揭露煤层全厚的巷道中，用皮尺垂直煤层顶底层面直接测量煤层总厚度。需要时，换算成真厚度。对于煤层增厚、变薄、分叉、尖灭、断层、褶曲等厚度变化处，应在井下现场绘制剖面草图和细部放大素描图。

(2) 采用测绘连续煤层剖面，或以一定间距测绘煤层柱状、迎头素描及用顶底板标高来控制煤层的厚度、结构及构造形态，并测量各个变化点处煤层产状（图 6—10）。

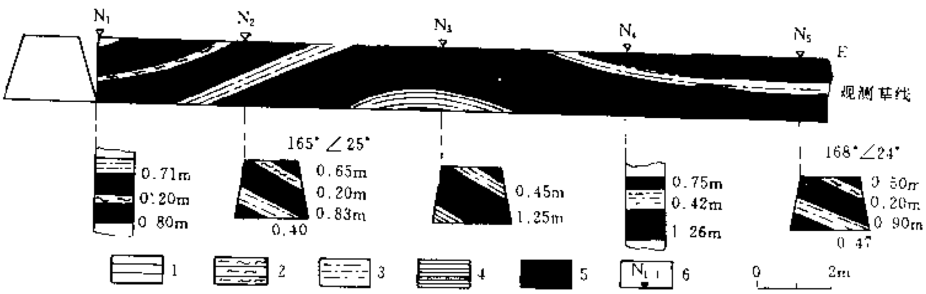


图 6—10 利用基线连续观测煤层厚度、结构及构造形态示意图

1—砂岩；2—泥质岩；3—砂质泥岩；4—页岩；5—煤层；6 观测点号

(3) 煤层观测点的布置，应按实际情况确定。对结构复杂、厚度不稳定的煤层，要以 10～20m 的点距控制；对结构简单、厚度稳定的煤层，一般以 50～100m 的点距控制。

(4) 一般用沉积岩石学方法来鉴定煤层顶底板。根据井巷支护及现场管理的需要，有时要进行顶底板岩石物理力学性质的试验和顶板裂隙的测量统计。

(5) 煤岩分层描述的观测点，尽可能选择在新鲜的连续剖面上。对层位稳定，厚度大于 2cm 的夹石层，必须单独分出。根据煤分层的光亮程度和结构特征划分各煤分层的煤岩类型。分层厚度取决于煤层厚度和研究目的。有特殊意义的标志层或煤岩类型须单独分层。

(6) 在上述观测基础上，将井下收集的各种煤层资料、填绘在采掘工程平面图上。填

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

绘的资料包括：观测点号，含顶底板岩性的煤层小柱状图，煤质化验简表及其它说明煤层和顶底板变化的资料。此外，还可以根据需要编制煤层等厚线图和煤质等值线图。

2．煤层的探测

1）煤层厚度的探测

（1）煤巷掘进中的探煤厚工作

当巷道不能揭露煤层全厚时，缓倾斜煤层用钻探配合溜煤眼和联络斜巷探测（图 6—11）；在急倾斜煤层中用钻探配合煤门探测（图 6—12）。探煤厚点间距，应根据煤层的稳定程度而定。



图 6—11　缓倾斜厚煤层沿顶掘进巷道探煤厚示意图

（2）回采工作面的探煤厚工作

在缓倾斜或倾斜的厚煤层分层开采工作面中，为了控制各个分层的回采高度，仅根据回采巷道中的煤厚探测点测定煤分层厚度是不够的，一般还要在上分层开采过程中，既测量实际采高，又要随着工作面的推进，按一定间距探测下分层煤厚，通常采用煤电钻探测。根据探煤厚资料，绘制煤分层等厚线图，确定分层开采的厚度。

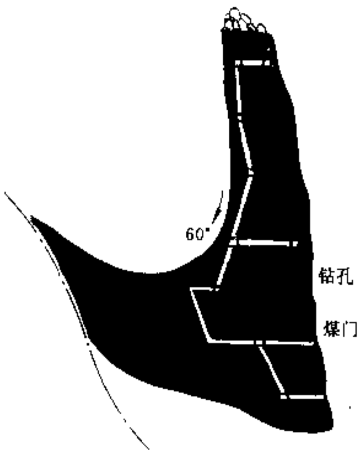


图 6—12　急倾斜煤层利用煤门巷道探测煤厚示意图

2）煤层分叉尖灭的探测

煤层分叉后，分叉煤层的稳定情况一般分两种。一种是煤层分叉后，各分叉煤层均较稳定；另一种是只有一层保持稳定，称为主分叉层，其它各分叉层很快尖灭。对分叉尖灭的探测，有三种情况。

（1）煤层呈多层次的且较稳定的分叉，可采用沿主要稳定煤层掘煤巷，然后用井下钻探探测各分叉煤层（图 6—13）。

（2）煤层呈稳定程度不同的分叉，在主分叉层布置巷道，对其它达可采厚度的次要分叉层，采用钻探、巷探各种手段探明可采范围，并按照自上而下的顺序回采（图 6—14）。

（3）分叉煤层的分、合区线是根据井下钻探和巷道控制的剖面及由反眼、平巷实见分合点连接而成。

3）煤层底凸薄化的探测

煤层底凸薄化是指煤层底板凸起而造成的一种煤层变薄尖灭现象。对于这种变化，主要是圈定煤层变薄和不可采范围，常用的探测方法有：

（1）利用钻探控制巷道掘进前方的底凸位置。如某矿一工作面切眼掘进时遇到底板凸起，煤层变薄，采用轻便钻机探测薄化范围，确定穿过底凸部位所需的岩巷工作量（图 6—15），并进一步确定其对工作面回采的影响程度。

（2）利用巷道穿过底凸部位，直接圈定煤层底板凸起的位置和煤层薄化范围。

（3）利用工作面上分层边采边探的煤层观测资料，编制煤层顶、底板标高等值线图，圈

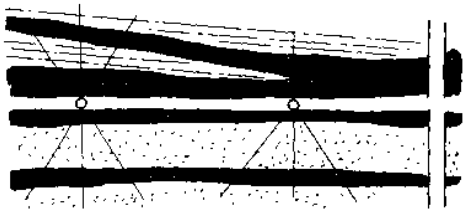


图 6—13 利用钻探探测各分叉煤层煤厚变化（水平切面图）

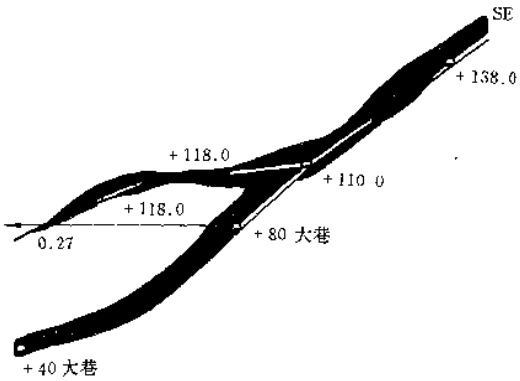


图 6—14 湖南马田桐子山矿煤层分叉尖灭的探测（剖面图）

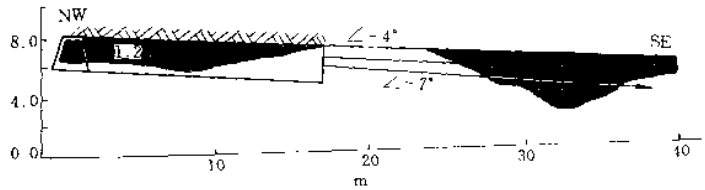


图 6—15 某矿工作面切眼巷道用钻探探测煤层底凸薄化范围示意图

定煤层底凸薄化的位置和范围。如某矿开采缓倾斜厚煤层的一个工作面时，从工作面顶、底板等高线图上可以看出煤层顶板平直稳定，而底板凹凸不平，并在相应部位出现三个不规则的煤层薄化带（图 6—16），据此提出了调整采高，合理回采的建议。

4）煤层河流冲蚀变薄带的探测

首先应在巷道中仔细观察和素描冲蚀带的宽度、厚度、岩石成分、层理、砾石分布、煤层顶板冲蚀情况、冲蚀面特征、冲蚀处煤质变化等。将各巷道所见的冲蚀现象投绘在平面图上，进行对比分析，确定古河床的分布范围及对煤层破坏的情况，圈出古河床冲蚀带范围（6—17）。

当冲蚀带范围不易查清时，需要用探巷或从邻近煤层的巷道中布置钻孔，探明冲蚀带宽度和煤层的可采范围（图 6—18）。同时还应充分收集地质勘探和矿井生产中有关煤厚、顶板岩性、煤质等资料，编制煤层等厚线图及顶板岩性分布图，结合巷道实见和钻孔资料，分析并圈定冲蚀范围，并预测冲蚀带可能延伸情况。

（二）评定煤层稳定性的主要参数

《矿井地质规程》（煤炭工业出版社，1984.5）指出，在定量评定煤层厚度稳定性时，薄

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

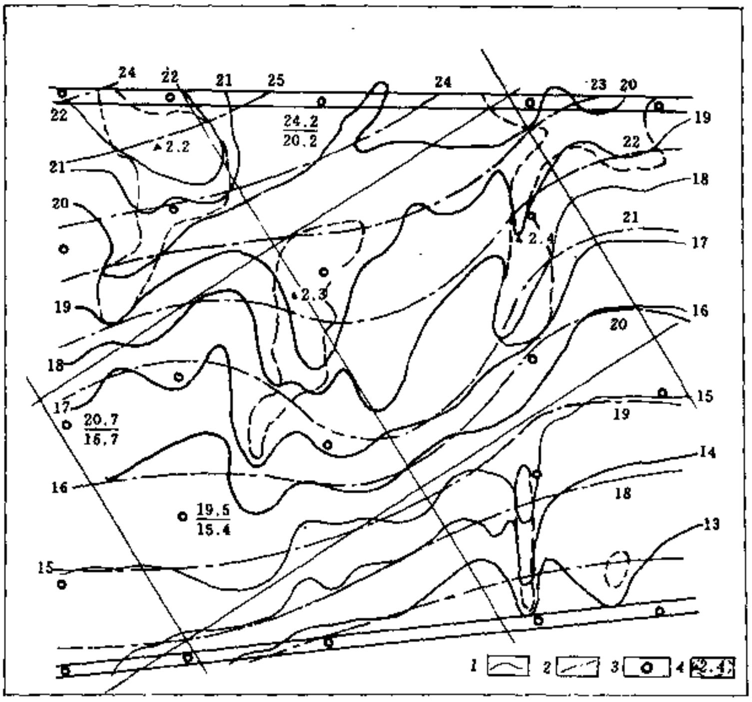


图 6—16　某矿利用煤层顶、底板等高线图圈定煤层薄化带示意图

1—底板等高线；2—顶板等高线；3—顶底板标高点（顶板/底板）；

4—煤厚小于 3.0m 的底凸薄化范围

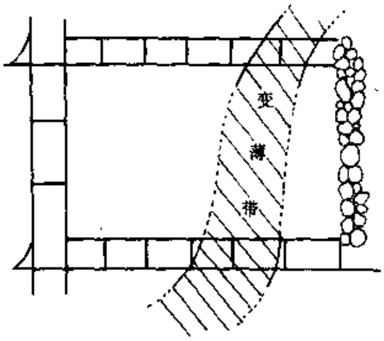


图 6—17　由巷道圈定煤层冲蚀变薄带示意图

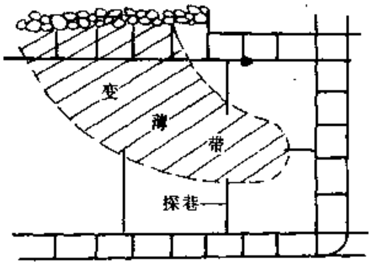


图 6—18　用探巷圈定煤层被河流冲蚀变薄带范围示意图

煤层以煤层可采性指数为主要指标，煤厚变异系数为辅助指标：中厚及厚煤层以煤厚变异系数为主要指标，煤层可采性指数为辅助指标。据此，定量划分煤层稳定程度类型（表6—2）。

表6—2 评定煤层稳定类型的主、辅指标

煤层类型	稳定煤层		较稳定煤层		不稳定煤层		极不稳定煤层	
	主要指标	辅助指标	主要指标	辅助指标	主要指标	辅助指标	主要指标	辅助指标
薄煤层	$K_m \geqslant 0.95$	$\gamma \leqslant 25\%$	$0.95 \geqslant K_m \geqslant 0.80$	$25\% < \gamma \leqslant 35\%$	$0.8 > K_m \geqslant 0.60$	$35\% < \gamma \leqslant 55\%$	$K_m < 0.60$	$\gamma > 55\%$
中厚和厚煤层	$\gamma \leqslant 25\%$	$K_m \geqslant 0.95$	$25\% < \gamma \leqslant 40\%$	$0.95 > K_m \geqslant 0.80$	$40\% < \gamma \leqslant 65\%$	$0.8 > K_m \geqslant 0.65$	$\gamma > 65\%$	$K_m < 0.65$
特厚煤层	$\gamma \leqslant 30\%$	$K_m \geqslant 0.95$	$30\% < \gamma \leqslant 50\%$	$0.95 > K_m \geqslant 0.85$	$50\% < \gamma \leqslant 75\%$	$0.85 > K_m \geqslant 0.70$	$\gamma > 75\%$	$K_m < 0.70$

表6—2中，煤层可采性指数 K_m 是表示评定区可采煤层所占比例的参数，由式6—1计算：

$$K_m = \frac{n'}{n} \qquad (6-1)$$

式中 K_m——煤层可采性指数；

n——评定区内所有参加评定的见煤点数；

n'——见煤点总数 n 中煤厚大于或等于最低可采标准的见煤点数。

表6—2中，煤厚变异系数 γ 是反映评定区内煤层厚度变化偏离平均厚度程度的参数，由式6—2计算：

$$\gamma = \frac{S}{\overline{m}} \times 100\% \qquad (6-2)$$

式中 γ——煤厚变异系数，%；

S——煤厚变化标准差，$S = \sqrt{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n} (m_i - \overline{m})^2}{n-1}}$；

m_i——每个见煤点的实测煤厚，m；

$\overline{m}$——评定区内的平均煤厚，m；

n——参加评定的见煤点数。

统计上述两项参数时，应注意两点，一是参加评定的煤厚点力求均匀，二是参加评定的煤厚点资料务必准确可靠，对不可靠的煤厚点或因构造等原因造成的煤厚异常点应予以剔除。

（三）煤层厚度变化的处理

1. 掘进中的处理方法

（1）在煤巷掘进中如遇到煤层分叉、尖灭现象，要根据具体情况确定掘进方案，如已

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

知上分层稳定可采，而下分层常变薄尖灭，则巷道应紧靠煤层顶板掘进，这样才不致钻入“叉尖”而造成废巷。如果是下分层稳定可采，上分层不稳定，则应紧靠煤层底板掘进。如果分叉后煤层全部可采，应先采上分层，再采下分层，以免上分层被破坏而浪费煤炭资源。

(2) 在采区上山掘进中，如遇煤层变薄带，应按变薄带的范围大小来决定巷道是直接穿过，还是停止掘进，或从其它地方另开巷道。一般在变薄带范围不大，并且确知工作面有煤可采时，掘进巷道采取挑顶或破底办法直接穿过变薄带。

(3) 主要运输巷遇到局部煤层变薄或尖灭时，巷道可按原计划施工，穿过变薄尖灭带，如图 6—19 所示。

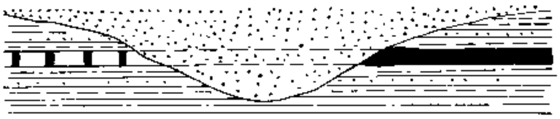


图 6—19 巷道按原计划掘进穿过冲蚀无煤带示意图

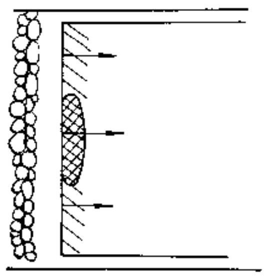


图 6—20 工作面直接推过变薄带示意图

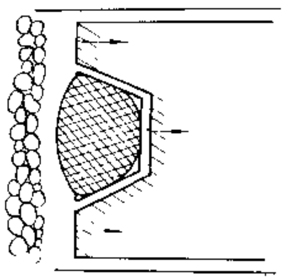


图 6—21 工作面绕过变薄带开采示意图

2. 回采工作中的处理方法

回采工作而遇到变薄带或无煤区时，可采用直接推过或绕过的办法。若变薄带或不可采区范围较小，则采用直接推过的办法（图 6—20）；若变薄带范围较大，可考虑采用绕过的办法（6—21）；大面积的不可采区，应布置探巷．探清不可采范围，将工作面分成几块回采，如图 6—22，先采①、②两块，然后合成一个工作面③进行回采。

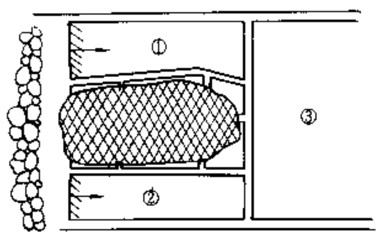


图 6—22 工作面分块回采示意图

如果在采区和回采工作面布置之前，已经了解到某些地方有煤层变薄或尖灭带存在，最好把这些煤层变薄或尖灭带作为采区或工作面的边界来处理。

第二节　矿井地质构造

矿井地质构造主要包括褶曲、节理和断层等。在影响煤矿生产的诸多地质因素中，地质构造占主导地位。

矿井地质构造按其规模的大小和对生产的影响程度分为大型、中型、小型三个等级。大型构造是指决定井田总体形态和井田边界的大型褶曲和大型断层，它们在勘探阶段已经查明。中型构造是指井田范围内影响采区划分和采区巷道布置的次一级褶曲和断层，它们对煤矿生产影响极大，始终是矿井地质工作的研究重点。小型构造是指那些在巷道施工或煤层开采过程中遇到的小褶曲和小断层。这些褶曲和断层在勘探和生产准备阶段很难查清，但它们的出现会给采掘工作，特别是机械化开采增加困难，因此研究小型构造是目前矿井地质的一项重要任务。

一、褶曲构造

（一）褶曲对煤矿生产的影响

褶曲对煤矿生产的影响可从两个方面考虑。一方面，按褶曲的规模分为大、中、小型三类，一般认为幅度在几十米以下，长度在1km以下的褶曲应属于中小型褶曲；另一方面，《矿井地质工作手册》（1986）从煤矿生产角度按褶曲两翼夹角大小，即褶曲两翼紧闭程度把褶曲分为四类：平缓褶曲（两翼夹角大于120°），开阔褶曲（两翼夹角70°～120°），中常褶曲（两翼夹角30°～70°），紧闭褶曲（两翼夹角小于30°）。

1. 大型褶曲

大型褶曲应在勘探阶段已经查明，它的规模、方向和位置影响到井田的划分和矿井开拓方式及开拓系统的部署，是矿井设计考虑的主要问题。

2. 中小型褶曲

中型褶曲对整个矿井的开拓部署影响不大，但对采区的布置关系密切，影响到采区的大小和采区巷道的布置。

小型褶曲是指在回采面准备过程中，在巷道中揭露的幅度仅几米到十几米，长度为几米到几十米的褶曲。它影响煤平巷的掘进方向，从而影响工作面长度，给机械化回采、顶板管理带来一定困难。小型褶曲还往往引起煤厚发生变化，使生产条件复杂化。小型褶曲特别发育时，甚至会使煤层变为不可采。

3. 紧闭褶曲

如果褶曲两翼紧闭，两翼夹角较小，褶曲轴部地应力就较大，且往往次一级构造发育，通常作为开采边界考虑。例如某矿在较为紧闭的背斜轴和向斜轴之间设计了一个斜长85m的工作面（图6—23），并按设计开了运输石门、溜煤眼等工程，后发现向斜轴部有几个次一级小褶曲而无法开采，只好缩短工作面，重开溜煤眼和溜子道。

（二）煤矿生产中褶曲的研究

1. 褶曲的判断

岩层产状的规则变化和岩层层序的对称重复是识别褶曲的两大标志。如在石门巷道中岩层倾向相背或相向倾斜，或在煤层平巷中由于煤层走向的急剧变化而使平巷弯曲（图6—24）表明有褶曲存在。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

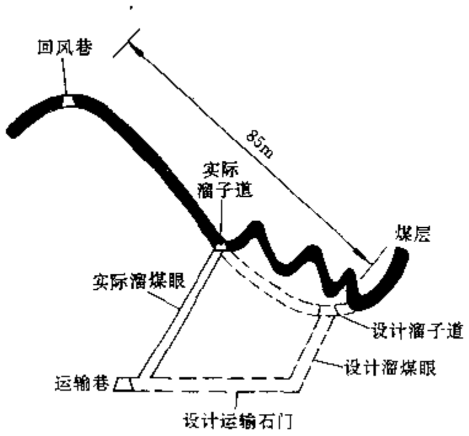


图 6－23　某矿由于紧闭褶曲轴部小褶曲影响生产示意图

在构造简单、岩层标志明显的地区，根据褶曲核部和两翼的岩层层序，不难判断背斜或向斜。但在地质构造复杂地区，要特别注意层位对比和岩层顶底面的鉴定，不要把倒转褶曲、等斜褶曲误认为单斜，由此而漏掉褶曲的存在。

在褶曲发育的矿区，褶曲轴的位置与采区划分和巷道布置关系密切。查明褶曲轴位置，延展方向，轴的长度，轴的倾斜和起伏情况，标高值等是矿井地质工作的一项重要任务。判断褶曲轴的方法有两点：

（1）根据上部资料推断　对下部新开拓的煤层，可利用上部已查明的资料下延推断褶曲轴的位置和方向。但在不对称褶曲中，不同煤层的褶曲轴在平面上的投影是不重合的，必须考虑轴面产状，结合煤层间距来推断轴的位置。在不协调褶曲中，上下层的褶曲形态可能有相当大的差别，应考虑各煤层顶底板岩石力学性质及褶曲各部位的应力状态，分析上下层褶曲的不协调变化，然后再根据这种变化规律去推断下部煤层褶曲轴位置。



图 6－24　煤层平巷掘进中确定褶曲存在示意图

图中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ为煤层底板标高点

（2）根据区域构造线方向推测　在新区资料较少的情况下，可由个别点褶曲轴资料，结合区域构造轴的方向来推断褶曲轴的方向。

2. 褶曲的观测

对于已经确认的褶曲构造，应观测描述以下内容：

（1）对在巷道中能看到全貌的小褶曲，应系统观测褶曲轴位置、方向、产状。对中型褶曲，在一条巷道中不能观测到全貌时，应准确鉴定观测点处的煤岩层层位及其顶底面顺序，岩层产状，然后把观测资料投绘到平面图或剖面图上，在图上综合分析，确定褶曲轴。

（2）褶曲两翼的岩层产状，褶曲宽度和幅度，褶曲的延展变化及向深部的延深趋势。

(3) 褶曲与断层、节理、煤厚变化的关系。在能看到煤层及顶底板的巷道中，要观察褶曲不同部位煤层厚度和结构的变化，煤层和顶底板中的滑动面，断层与节理发育情况等。这对了解褶曲与断层的相互关系，评价煤层顶板稳定性，研究煤厚的变化规律都是重要资料。

3. 查明褶曲的探测手段

根据观测资料判断褶曲轴常带有推断性，这种推断一般不能作为指导生产的依据，因此有必要进行探测。

对褶曲的探测，首先应尽可能地利用已揭露的各种资料，初步判断其类型、要素、分布范围。当有些部位的构造形态不太清楚时，最好采用将来能用于生产的探巷加以查明。对复杂构造，控制很少的褶曲，则应在井下邻近巷道用钻探查明。

(三) 褶曲的处理

1. 大型褶曲

(1) 褶曲轴线作为井田边界　有些大型向斜，由于轴部埋藏较深，开采困难，多作为井田边界，其两翼分别由两个或几个井田开采。有些大型宽缓背斜，两翼煤层距离较远，井下难以形成统一的生产系统，可以褶曲轴为界，两翼分别由两个井田开采。

(2) 大型褶曲在井田开拓部署中的处理方法　井不是所有的大型褶曲轴都必须作为井田边界，在有的井田内也可以有大型褶曲存在。若在井田内有大型背斜构造，开拓系统中常把总回风道布置在背斜轴部附近，两翼煤层均可利用。有些位于向斜构造的矿井，常把运输巷道布置在向斜轴部附近，用一条运输巷解决向斜两翼的运输问题。

如果利用立井或斜井开拓，井筒位置最好不要布置在向斜轴部附近，因为这种井筒布置须留较大的保护井筒煤柱，损失煤炭资源。

大型向斜轴部的煤层顶板压力常有增大现象，必须加强支护，否则极易发生垮塌事故。在高沼气矿井中，若岩层透气性差，背斜轴部常是瓦斯突出危险区，应给于足够的重视。

2. 中型褶曲

(1) 以褶曲轴线作为采区中心布置采区上山或下山　对开阔的平缓褶曲，以向斜轴作为采区中心，向两翼布置回采工作面，采区走向长可达 1000m 以上（图 6—25）。

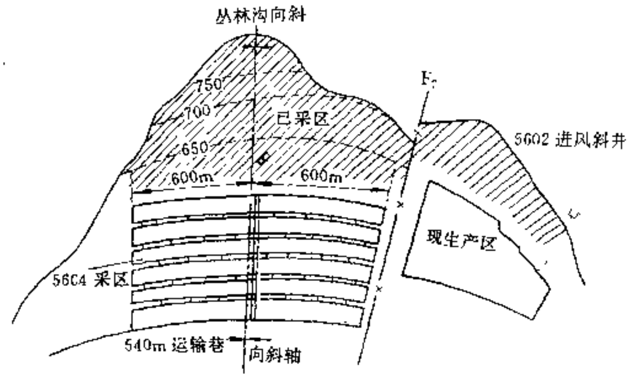


图 6—25　以中型向斜轴作为采区中心布置采区上山示意图

(2) 以褶曲轴作为采区边界　在较紧闭的褶曲轴部，次一级构造往往发育，因此常以褶曲轴作为采区边界（图 6—26）。

(3) 工作面直接推过褶曲轴　当褶曲较宽缓，而规模不太大时，可布置单翼采区，工作面直接推过褶曲轴部（图 6—27）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

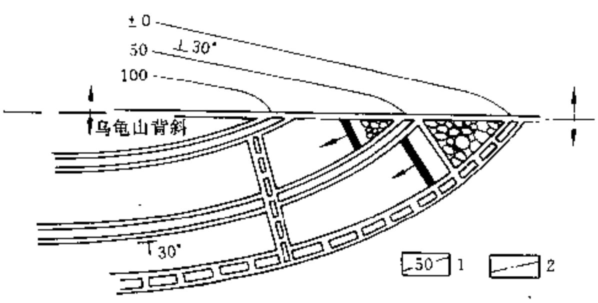


图 6—26　以中型较紧闭褶曲轴作为采区边界示意图
1—煤层等高线；2—背斜轴线

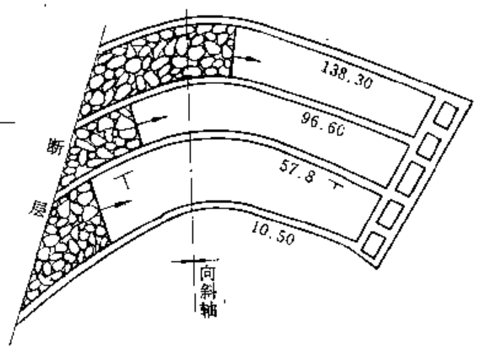


图 6—27　工作面直接推过向斜轴部示意图

3. 小型褶曲

(1) 采面重开切眼生产　在小型褶曲发育地区，常见到煤层突然增厚或变薄，甚至不可采，使工作面无法通过，需要重新开掘切眼进行生产。

(2) 采面运输巷改造取直　煤矿要求运输巷在 60m 内不能有大的弯曲，弯曲过多无法使用。由于小褶曲存在，使煤平巷弯弯曲曲，为满足生产要求，巷道需要改造取直（图 6—28）。

二、断裂构造

(一) 节理（裂隙）对煤矿生产的影响及处理

1. 影响钻眼爆破效果

当岩石中节理发育时，炮眼方向如与主要节理组平行，不仅容易卡钎子（尤其是用“一”字型钻头），而且在爆破时沿裂隙面漏气，爆破效果大大降低。所以，炮眼方向应尽量垂直主要节理面布置。

2. 影响开采效率

在回采高变质和低变质煤层时，根据节理面的方向和发育程度，合理布置回采工作面，可以提高生产效率。如图 6—29 所示，煤层中发育两组节理，一组倾向西，倾角 50°～55°，较发育；另一组与之垂直，不太发育。若工作面由东向西推进，煤块容易顺发育的节理面采落，生产效率高，工作面推进快。相反则生产效率低，进度慢。

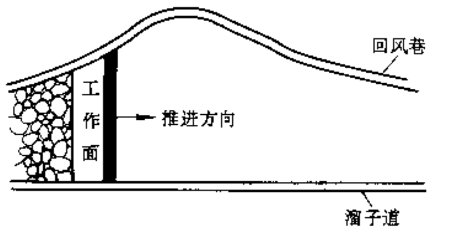


图 6—28　对采面运输巷改造取直示意图

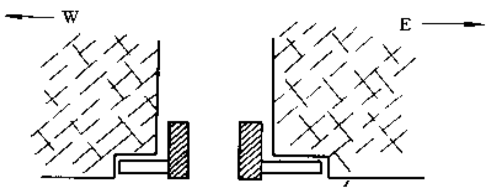


图 6—29　采煤方向与主要节理组关系示意图

3. 影响顶板控制方法

煤层顶板岩石节理发育时，工作面顶板支护一般不能用顶柱，而要采用顶梁，并且顶梁不能平行主要裂隙组方向，应与主要裂隙组有一定交角，以防止顶板沿裂隙面冒落。当煤层倾角较小、顶板裂隙发育时，放顶距离要小，而且回柱放顶方向应根据顶板主要裂隙组方向确定（图 6--30）。

4. 影响工作面布置

当煤层顶板节理发育时，回采工作面布置要考虑节理的方向，以利于顶板支护。如果工作面平行主要裂隙组方向，容易发生冒顶事故。因此工作面布置最好与主要节理组方向有一定交角或接近垂直（图 6—31）。

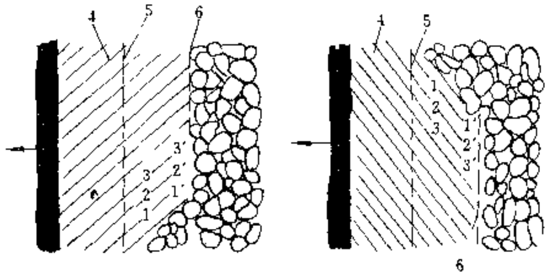


图 6—30 工作面回柱放顶方向与主要节理组关系示意图

1—1′、2—2′、3—3′为正确的放顶方向；
4—顶板岩层主要节理组方向；5—新支架；6—老支架

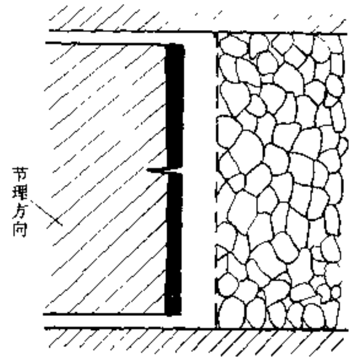


图 6—31 工作面与主要节理组方向成角度布置示意图

5. 对其它方面的影响

节理发育的地段，是地下水和矿井瓦斯的良好通道。如果工作面采前要进行瓦斯抽放，一般应使回采准备巷道与主要节理组方向呈一定角度。为保证回采的安全，应在采前查明节理的发育程度及其与水源的导通情况。

（二）断层对煤矿生产的影响

断层破坏了煤层的连续性和完整性，对煤矿生产造成了很大的影响。断层规模不同，对生产的影响程度不同。目前对断层规模等级的划分标准尚不统一。根据煤矿工作实践，建议采用下列划分标准：落差大于 50m 为特大型断层，落差 50～20m 为大型断层，落差 20～5m 为中型断层，落差小于 5m 为小型断层。

断层对煤矿生产的影响主要表现在 7 个方面。

1. 影响井田划分

断层是井田划分的主要依据之一。在井田划分时，若井田内存在着大断层，必然会增加岩石巷道掘进量，并给掘进、运输、巷道维护、矿井水和矿井瓦斯防治等带来困难。

2. 影响井田开拓方式

若井田内存在大型断层，煤层必然被截割成若干不连续的块段，断层附近煤层倾角加

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

大，井田内煤层产状变化复杂，开拓方式的选择受到限制。

3. 影响采区和工作面布置

井田内不同类型中、小型断层的存在，会给回采、运输、顶板管理和正规作业循环等造成困难，使煤矿生产水平划分、采区划分和工作面布置受到不同程度的影响。

4. 影响安全生产

由于断层带岩石破碎，岩石强度降低，容易聚集瓦斯、导通地表水和地下水，引发矿井突水、瓦斯突出和坍塌冒顶事故。

5. 增加煤炭损失量

断层两侧需留有一定宽度的断层煤柱，形成煤炭损失，断层越多，断层煤柱损失量越大。

6. 增加巷道掘进量

在巷道掘进中遇断层，可能会引起生产设计方案调整和寻找断失煤层，导致巷道掘进量增加，甚至会形成大量废巷。

7. 影响煤矿综合经济效益

煤层内断层的破坏程度与煤矿劳动生产率，吨煤成本、千吨掘进率、煤损失率和机械化开采水平等有着密切关系，直接影响着煤矿生产的经济效益（表 6—3）。

表 6—3 按煤层断裂破坏程度划分的井田复杂性类型

按断裂破坏程度划分的井田复杂性类型	井田的平均断层长度指数 m/km²	采煤时相对的技术经济指标（以第一类型为 1 的相对值）			断层附近煤的损失率 %	机械化开采的可能水平
		劳动生产率	吨煤成本	千吨掘进率		
第一类	<50 000	1	1	1	<5	全面采用综采
第二类	50 000~150 000	0.65~0.90	1~1.4	1.10~1.15	5~20	部分采用综采
第三类	150 000~250 000	0.50~0.75	1.4~1.75	1.50~2.50	20~30	个别采用综采
第四类	>250 000	<0.50	>1.75	>2.50	>30	不能采用综采

（引自龙荣生《矿井地质学》，1991）

（三）煤矿生产中断层的研究

1. 断层揭露前的征兆

(1) 煤层和顶底板岩石中裂隙显著增加，一般越靠近断层越增加明显。

(2) 煤层产状发生显著变化。这是由于断层两盘相互错动，牵引附近煤岩层变形的结果（图 6—32）。

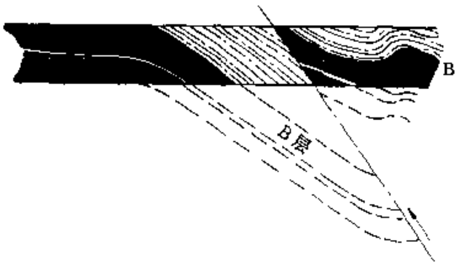


图 6—32 某矿巷道在近断层处煤层产状变陡示意图

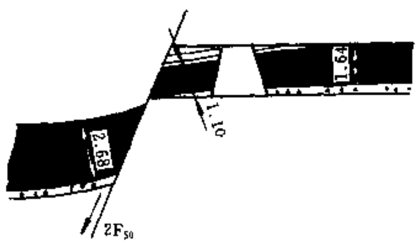


图 6—33 某矿工作面断层附近顶底板不平行、煤厚变化示意图

(3) 煤层厚度发生变化，煤层顶底板出现不平行现象（图 6—33）。这是由于煤层较松软，或者顶底板岩石力学性质差异较大，在受到断层挤压和揉搓时，不同部位存在差异变形所致。

(4) 煤层结构发生变化，滑面增多，出现揉皱和破碎现象，煤呈鳞片状、粉末状，常有小褶曲出现（图 6—34）。

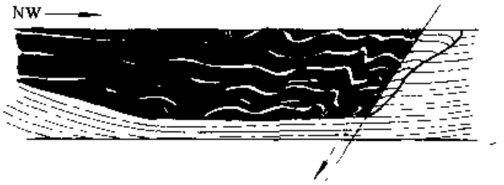


图 6—34 某矿下山巷道遇断层前出现的揉皱和滑面

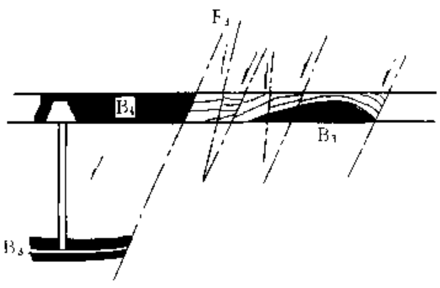


图 6—35 某矿大断层附近的伴生小断层

(5) 在大断层附近常伴生一系列小断层，这些小断层与大断层性质相同，是大断层的伴生小构造（图 6—35）。

(6) 在高沼气矿井，巷道中的瓦斯涌出量有明显变化的地段可能有断层存在。如图 6—36 所示，在断层附近，瓦斯涌出量出现高峰值。

(7) 充水性强的矿井，巷道接近断层时，常出现滴水、淋水以至涌水等现象。这是由于上部含水层或其它水体沿断层附近裂隙下渗所致。

上述各种征兆，不一定在所有断层带都出现，有的可能只出现其中几项，也有的断层甚至没有什么征兆。

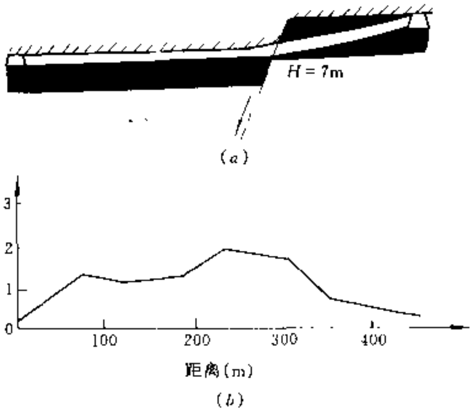


图 6—36 某矿遇断层时瓦斯涌出量增大示意图
(a) 煤层剖面图；(b) 瓦斯涌出量与断层距离关系图

2. 断层的观测

(1) 确定断层位置 在井下从已知测量点用皮尺丈量距断层的距离，以确定断层的位置。对于落差较大的断层，往往出现数个错断面，要找出主要断层面的确切位置，并把测量结果绘在巷道平面图或剖面图上（图 6—37）。

(2) 观察断层面特征 观察断层面的产状（是平坦的、粗糙不平的还是舒缓波状的）；断层面擦痕特征；断层破碎带的宽度及其变化；破碎带充填物特征（是断层角砾岩、糜棱岩还是断层泥）；充填物的成分、大小、排列及胶结情况。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

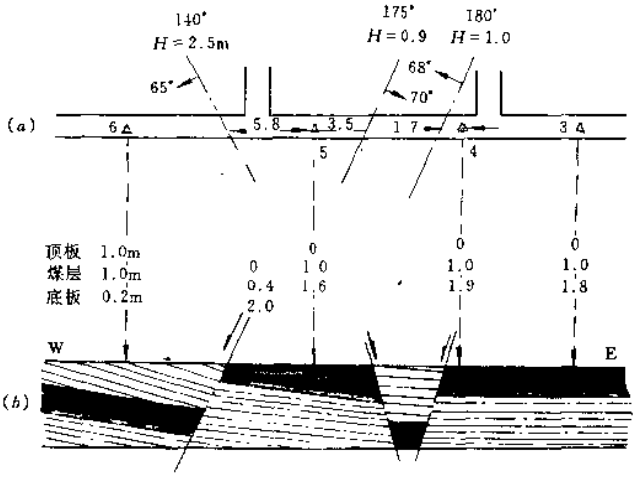


图 6-37 在巷道平面图和剖面图上加注数字记录断层示意图

(a) 平面图；(b) 剖面图

(3) 观察断层的伴生派生构造 对断层上、下盘煤岩层产状及厚度变化、牵引现象、羽状节理、帚状构造等进行观察，为确定断层性质和寻找断失煤层取得依据。

(4) 确定断层性质及断层力学性质 在上述观察基础上，结合矿井构造规律，确定断层性质，同时还应确定断层面的力学性质（是压性面、张性面或是扭裂面等）。

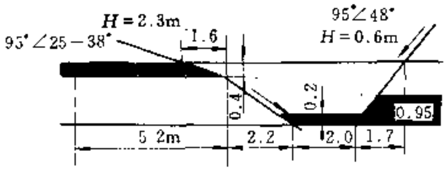


图 6—38 在巷道剖面图上加注数字记录断层，确定断距示意图

(5) 测量断层面产状 可在断层面上用罗盘直接测量，还可从巷道两帮断层面同标高两点拉皮尺，用罗盘测皮尺方位，得到断层面走向。平巷中用罗盘测量断层在巷顶、底出露线的方位也是断层走向。断层面倾角可以直接测量真倾角，也可测量断层在巷道方向上的伪倾角，然后换算出真倾角。

(6) 确定断层的断距和落差 多数煤矿采用的落差概念系指铅直断距（断层两盘同一层面断失点之间的标高差）。除测量落差之外，还要测量地层断距。当断距小于巷道高度时，可在井下实地测量落差和地层断距（图 6—38）。当断距较大时，根据断层两盘煤岩层层位对比并结合地层柱状图，可推算出地层断距（图 6—39）。

(7) 对断层进行素描 采用巷道平面图加注数字（图 6—37），或巷道剖面图加注数字（图 6—38）及巷道平面图加横断面图（图 6—40）等多种方法，把断层的特征和主要参数表示出来。

3. 断失煤层的寻找

井下遇到落差较大的断层时，不能直接看到另一盘煤层，由此需要寻找断失煤层。寻找断失煤层的方法有以下五种。

1）层位对比法

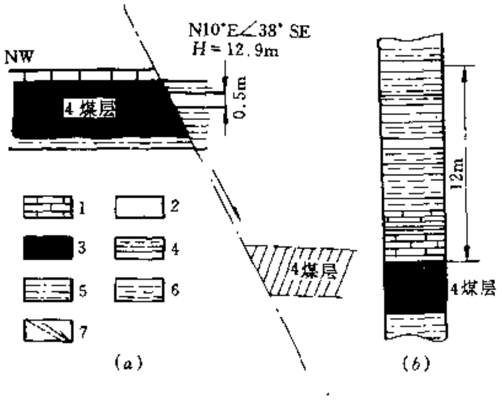


图6—39 某矿用层位对比法确定断层性质和地层断距示意图

(a) 剖面图；(b) 局部柱状图；
1—石灰岩；2—砂岩；3—煤层；4—砂页岩；5—粉砂岩；6—泥岩；7 错动方向

根据巷道揭露的断层两盘煤岩层层位，寻找断失煤层位置。例如图6—39所示的河北井陉三矿4号煤层，掘煤巷时遇一断层，断层对盘揭露一层白色细砂岩，其层位是位于4号煤顶部12m的标志层。根据层位对比，确定该断层为上盘下降之正断层，地层断距12.9m，断失煤层在巷道下方。

在开采煤层群的矿井，由于断层常把不同煤层错接在一起，掘煤巷时断层不易识别，容易漏掉断层。此时要特别注意掌握各煤层的煤岩特征和顶底板岩性，准确鉴定巷道的掘进层位。例如河北开滦唐山矿有一条由8号煤掘入9号煤的巷道，由于事先掌握了这两层煤的煤岩类型差异，因此很快发现了断层，并确定了断层性质和地层断距（图6—41）。

2）伴生派生构造判断法

断层附近常伴生派生一些小型或微型构造，在成因上与断层有联系，在分布上与断层相伴随。它们既可作为断层存在的标志，又可作为判断断层性质、推测断失煤层位置的依据。主要伴生派生构造有：牵引褶曲、断层擦痕、伴生小断层、断层面上的煤线（导脉）、羽状裂隙和帚状构造等。

3）规律类推法

随着矿井地质资料的积累，对矿区出现的断层得出某些规律性认识，并据此指导断失煤层的寻找。例如在河南焦作矿区、内蒙扎赉诺尔矿区，从开采至今没有发现过逆断层，所揭露的断层均为正断层。据此规律，只要查明断层面的倾向，就可指明断失煤层的寻找方向。又例如河北峰峰矿区，绝大多数为正断层，只有NE30°方向才出现过倾角较缓的逆断层。因此，只要查明断层走向，就可确定断层性质和断失煤层的方向。

4）作图分析法

充分利用各种矿图，包括矿井地质剖面图、水平地质切面图、煤层底板等高线图及煤层立面投影图。将新揭露的断层位置点投绘到图上，根据断层产状进行上下左右对比连接，如与已查明的某条断层产状近似一致、特征相同，并能自然连接，就认为新断层是已知断层的延续，由此推断新断层的性质和规模。

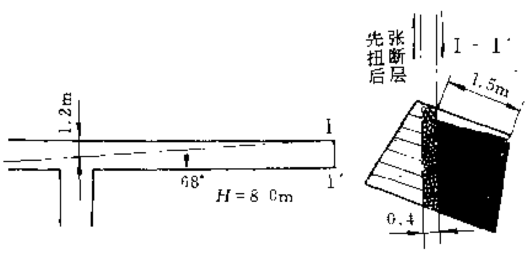


图6—40 巷道平面图加横断面图记录断层示意图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

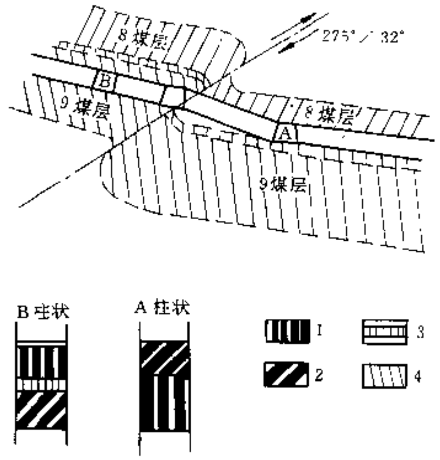


图 6—41　利用煤岩特征确定断层示意图
1—半暗型煤；2　半亮型煤；
3—砂质泥岩；4—推测断层

具体分析方法如图 6—42 所示。

还应注意，在煤层底板等高线图和立面投影图上，断层应按断煤交线延伸；在水平切面图上断层按走向延伸；在剖面图上断层按该剖面上断层的伪倾角延伸。只有这样，才能得到正确的结果。考虑到断层产状会发生变化，因此断层的推延只能在近距离内进行。

作图分析法不但能分析新揭露断层的性质和规模，还可用于断层的预测。其方法原理与新见断层的分析完仝一样。

5）生产勘探法

生产勘探的手段主要有钻探和巷探，此外还有物探手段。一般在断层性质已经确定，生产上又需要掘进过断层的巷道时，可采用巷探，如图 6—43 所示。当断层性质及断距均不明确，生产上又需要先查明断层再确定掘进方向时，采用钻探。钻探原则上采用井下钻探，可以选用水平、倾斜、铅直和扇形群孔等方式达到勘探目的（图 6—44）。

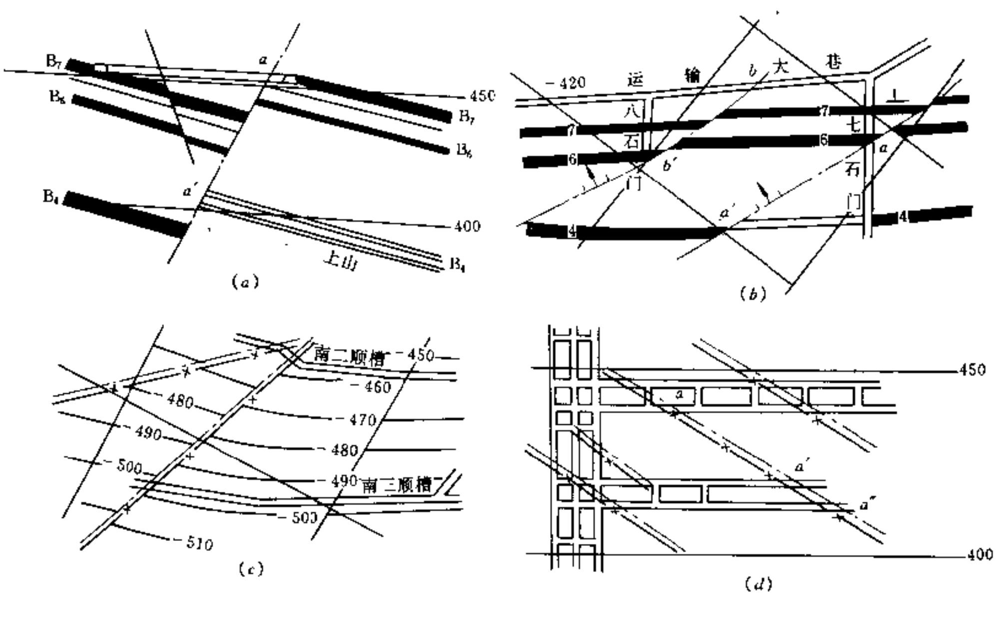


图 6—42　作图分析法确定断层性质与断距示意图
（a）剖面图；（b）水平切面图；（c）煤层等高线图；（d）煤层立面投影图；
a、b　已查明的断层点；a′、a″、b′　新揭露的断层点

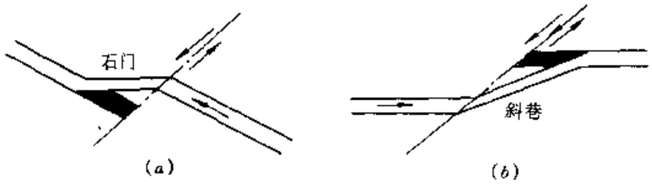


图 6—43 利用巷探寻找断失煤层

(a) 煤层倾角较大时；(b) 煤层倾角较小时

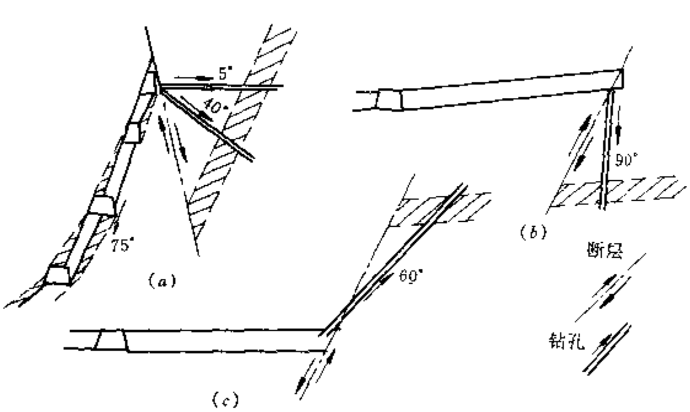


图 6—44 利用井下钻探寻找断失煤层

(a) 急倾斜煤层；(b)、(c) 缓倾斜煤层

(四) 断层的处理

1. 开拓设计阶段对断层的处理

1) 井田边界和采区边界的确定

凡是井田内遇到落差大于 50m 的特大型断层时，应以该大型断层作为井田边界，以便把井田边界煤柱和断层保安煤柱合为一体，减少煤柱损失，同时又可以避免三角煤，提高资源回收率。在水文地质条件复杂的矿区，过断层时容易造成突水事故，因此我国许多矿区常以大断层为井田边界，尽量不使巷道横穿断层，以减少突水事故及大量岩巷的掘进。如河北峰峰矿区井田划分（图 6—45）多以大断层为界。

划分采区时，也应以断层作为采区边界，但采区的走向长度应尽量与正常采区走向长度近似。一般当两条断层之间的煤层走向长度大于 800～1000m 时，可以这两条断层为界划为一个采区，用双翼上山方案进行开采（图 6—46*a*）；当断层落差大于 20m，断层之间走向长度在 400～500m 时，以断层为界划分采区，用单翼上山方案开采（图 6—46*b*）。

2) 井筒位置的选择

如果井筒布置在断层带上，不但压力大，施工困难，而且易造成煤层和含水层接近甚至接触，给井筒延深带来困难。因此，一般立井井筒要布置在倾角较大的大断层下盘，距

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

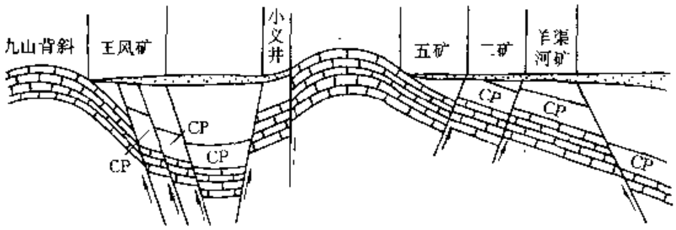


图 6—45 峰峰矿区的构造形态及井田划分示意图

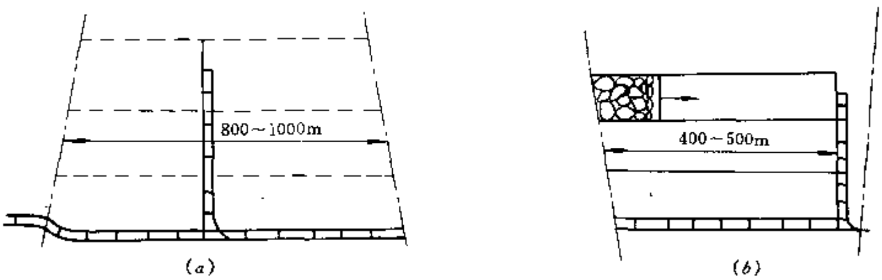


图 6－46 断层区上山开采方案示意图

(a) 双翼上山方案开采；(b) 单翼上山方案开采

断层 30～50m 以外的位置（图 6—47)。

对于倾角小的断层，立井井筒无法避开断层时，只能在井筒施工过程中采取必要的保安措施，选择煤层层数少的地点穿过断层，且井底车场的位置要避开断层带（图 6—48)。斜井井筒也要以同样的原则处理。

3）运输大巷的布置

运输大巷是长期使用的主要巷道，须布置在较坚硬的岩层中，且尽量少改变方向。但在断层错动处，断层上、下盘的煤岩层位移较大，甚至与另一盘的含水层相遇，因此必须考虑巷道的改道问题。如图 6—49 所示，AB 组运输大巷北翼与中央石门接近时，有一条 F_{13} 断层落差较大，其下盘为太原组石灰岩含水层。为防止水患，在距灰岩 30m 处向北改变巷道方向，穿过断层后，再沿原来层位掘进，与石门连通。这样不但解决了巷道的改向问题，也缩短了中央石门的长度。同样，BC 组运输大巷遇断层 F_{15} 后也需要改变方向，以避开煤层，使大巷布置在较坚硬的岩层之中。

4）采区内块段划分

被断层切割破坏的地区，要综合考虑断层的位置、落差、被切割块段的大小和形态，以及已有的生产系统等因素来划分开采块段，要尽可能地将较大断层留在各块段之间的煤柱当中。如图 6—50 所示，将两条走向断层留在上、下煤柱中，另以一条倾向断层作为回采边界。

5）井田开拓方式的确定

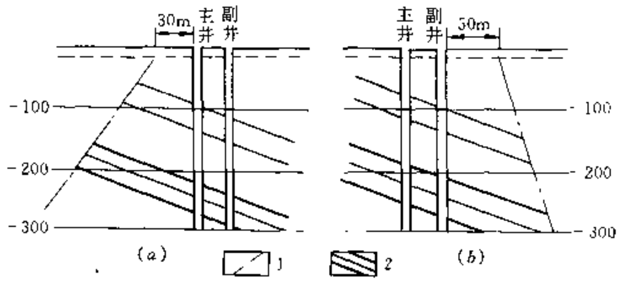


图 6—47　根据断层特点选择井筒位置

(a) 断层煤层倾向相反，倾角大于 60°，立井距断层 30m；

(b) 断层与煤层倾向相同，倾角大于 60°，副井距断层 50m.

1—断层；2—煤层

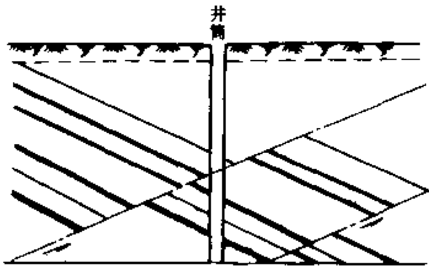


图 6—48　井筒选择在穿过煤层少的地点过断层

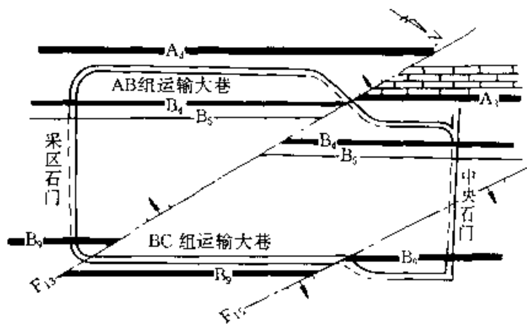


图 6—49　运输大巷遇断层的转弯情况

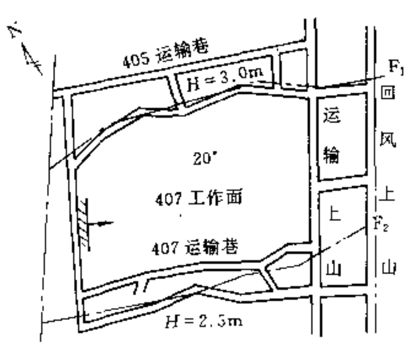


图 6—50　工作面划分时对断层的处理

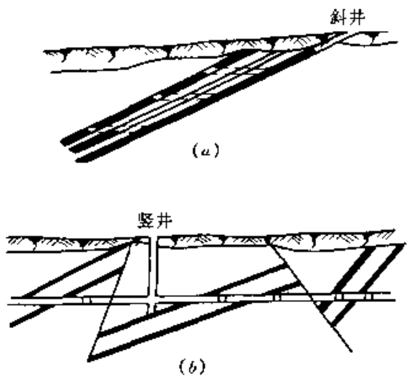


图 6—51　井田开拓方式示意图

(a) 斜井开拓；(b) 立井开拓

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

选择井田开拓方式时，要考虑各种地质因素的影响，其中断层占重要地位。在缓倾斜煤层中，用斜井开拓较好（图 6—51*a*），但是如果煤层遭到断层破坏，产状发生变化，就应采用立井结合主要石门的开拓方式（图 6—51*b*）。

2. 巷道掘进阶段对断层的处理

1）平巷过断层

平巷过断层分为穿过煤层顶板（或底板）和顺断层面掘进两种方式。

当煤层平巷遇断层后，要求不改变巷道坡度而可改变巷道的方向过断层，其中有破顶板掘进和破底板掘进两种情况。前者是煤层平巷在断层上盘改向破顶板过断层进入下盘煤层（图 6—52*a*），后者是煤层平巷过断层在断层下盘改向破底板进入煤层（图 6—52*b*）。至于是选择前者还是后者应根据岩性有利施工、距离短和少丢煤等因素综合考虑。

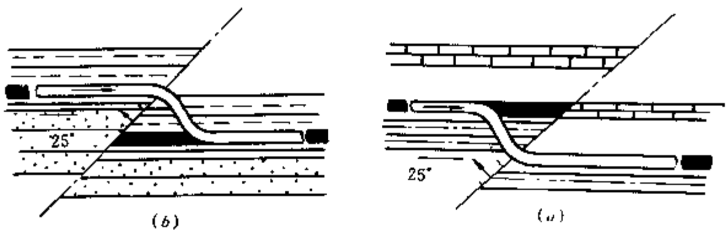


图 6—52　平巷穿过顶板或底板过断层示意图

（*a*）煤层平巷破顶板过断层；（*b*）煤层平巷破底板过断层

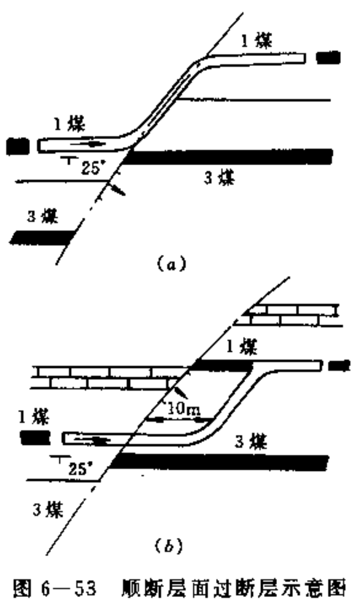


图 6—53　顺断层面过断层示意图

（*a*）顺断层面过断层；

（*b*）平行断层面掘石门进入另一盘煤层

当煤层平巷遇斜交正断层，如果断层带的压力不大并没有瓦斯及水的威胁时，可沿断层带掘进井进入另一盘煤层（图 6—53*a*）；如果断层带岩石破碎、压力大、又有瓦斯和水的威胁时，则不能紧靠断层面开掘巷道，而应使巷道穿过断层后，距断层面一定距离，平行断层走向开掘石门进入另一盘煤层（图 6—53*b*）。

2）倾斜巷道过断层

上山、下山等倾斜巷道遇断层后，可以根据生产的要求采取多种形式通过断层。

当断层落差较小时，根据断失盘是上升盘还是下降盘分别采用挑顶、挖底或挑顶挖底相结合的方式通过断层。无论选择什么方式，都必须使改变后的巷道坡度变化不大，有利于运输。当断层落差较大时，为防止丢煤和少掘巷道，可根据巷道用途（运输巷或回风巷）、断层面和煤层面产状（同向或反向）、断层性质等采用改变巷道坡度或掘石门的办法通过断层（图 6—54）。

3. 回采阶段对断层的处理

1）采用强行通过的方法

当断层落差较小，并满足下列情况之一者，可以采用强行通过断层的方法。

（1）在普采及炮采工作面内，断层落差小于煤厚时；

（2）在综采工作面内，当断层两盘对接部分的煤厚大于液压支架的最小支撑高度时；

（3）在综采工作面内，当断层两盘对接部分的煤厚小于液压支架最小支撑高度，但煤层顶底板岩性较软，采煤机能切割时。

2）采用重开切眼的方法

当断层落差大于煤厚时，对于倾向断层或斜交断层可采用重开切眼的方法，即提前在断层另一盘重新开掘切眼，待工作面推进到断层处，停止回采，工作面搬家到新切眼内继续开采（图6—55）。

3）采用划小工作面的方法

当断层落差大于煤厚时，对于走向断层，可在断层两侧补掘中间平巷，把原来一个采面划分为两个采面分别回采（图6—56）。对于落差一端大、一端小的斜交断层，可采用合采与分采相结合的方法，如图6—57所示。在AB线以南，因断层落差很小，可用强行通过的方法，把断层上、下盘煤层合起来开采。AB线以北，因断层落差增大，断层上、下盘不能合采，需要在断层上盘增掘运输平巷，在断层下盘增掘回风平巷，分为两个工作面开采。此外，为了让综采面顺利通过断层，还可以采用超前处理断层的方法。即沿落差小于煤厚，但煤层顶底板岩石较坚硬的断层，用风镐或凿岩机打眼放小炮，将断层

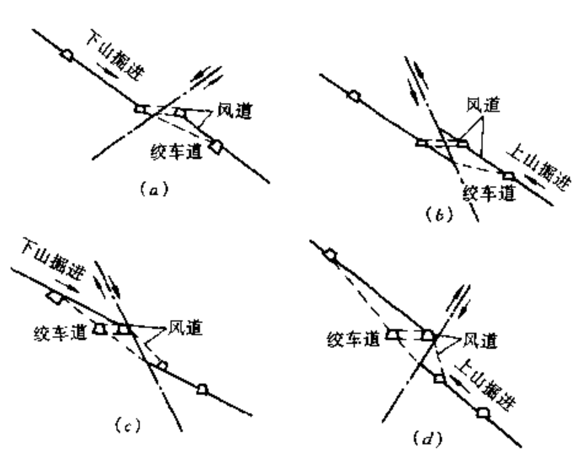


图6—54　在倾斜巷道中用改变巷道坡度或掘石门方法过断层示意图

(a) 反向正断层；(b) 同向逆断层；(c) 同向正断层；(d) 反向逆断层

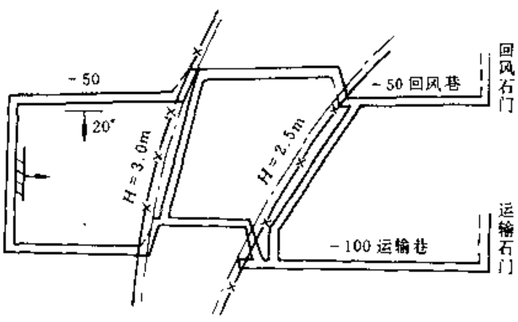


图6—55　采用重开切眼处理采面内的倾向断层和斜交断层

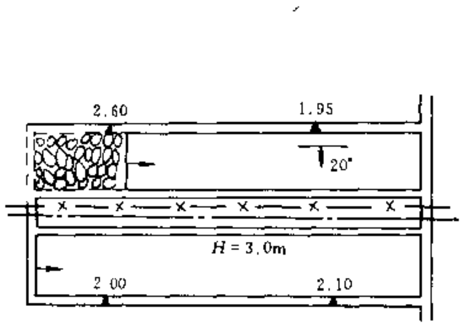


图6—56　采用划小工作面处理采面内的走向断层

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

带煤层顶底板削平，以利采煤机和液压支架顺利安全通过断层。

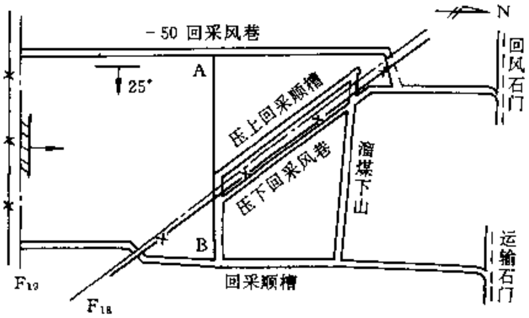


图 6—57　采用合采与分采相结合方式处理落差变化的斜交断层

第三节　岩浆侵入煤层

岩浆侵入煤层，破坏煤层的连续性，减少煤炭储量，并可使煤质变差，降低煤的工业价值。同时，侵入岩体硬度大，妨碍采掘工程顺利进行。

一、岩浆侵入对煤矿生产的影响

（一）岩浆侵入对煤质的影响

岩浆侵入使煤层发生变质作用，并使煤质变劣。其变质程度由岩浆的成分、侵入体大小、形态及侵入煤层的位置所决定。一般说来，岩浆侵入引起的变质作用有以下规律。

(1) 岩墙切割煤层，对煤质影响小，通常只是岩墙两侧几米的煤发生变质。岩床沿煤层侵入，对煤质影响范围大，一般岩浆侵入煤层下部影响较大，侵入顶部影响较小，侵入中部影响最大。

(2) 侵入体的大小，厚度直接影响变质程度。侵入体越大，煤层变质越高，影响范围越大；反之则小。

(3) 侵入体岩性对煤质的影响，一般认为辉绿岩影响最大，闪长岩次之，石英斑岩影响最小。这是因为辉绿岩属基性岩，熔化温度高，因此对煤质影响较大；石英斑岩属酸性岩，熔化温度低，对煤质影响小。

(4) 岩浆侵入煤层，形成一个热力变质带。距侵入体近者变质深，远者变质浅。可按煤种划分若干带，由近而远为天然焦、高变质煤、低变质煤，逐渐转成正常煤。从一个煤层看，不仅有水平分带，而且垂直分带现象也很明显（图 6—58），煤种沿倾斜方向有明显分带现象，这种分带现象与侵入体的产状和形态有密切关系，产状越缓，体积越大，分带现象越明显。

（二）岩浆侵入对煤矿生产的影响

岩浆侵入对煤矿生产的影响主要表现在三个方面。

(1) 减少煤炭储量，缩短矿井服务年限。例如阜新平安矿某区面积为 25 万 m^2，原有储量 152 万 t，由于岩浆侵入破坏，只剩下 200t，其余均被岩浆吞蚀或变成天然焦。

(2) 使煤质变差，灰分增高，挥发分显著降低，粘结性遭到破坏。使原来的优质工业用煤降为一般的民用煤或天然焦。例如河北井陉一矿原产很好的主焦煤，但在岩浆侵入体附近采出的煤炭，质量很差，甚至不能使用。

(3) 破坏煤层的连续性。岩浆侵入体把煤层分割成若干块段，并在煤层中分布着许多零星岩体，给巷道掘进、采面回采带来困难，影响采面合理布置。

二、岩浆侵入煤层的观测与研究

（一）对岩浆侵入体的观测

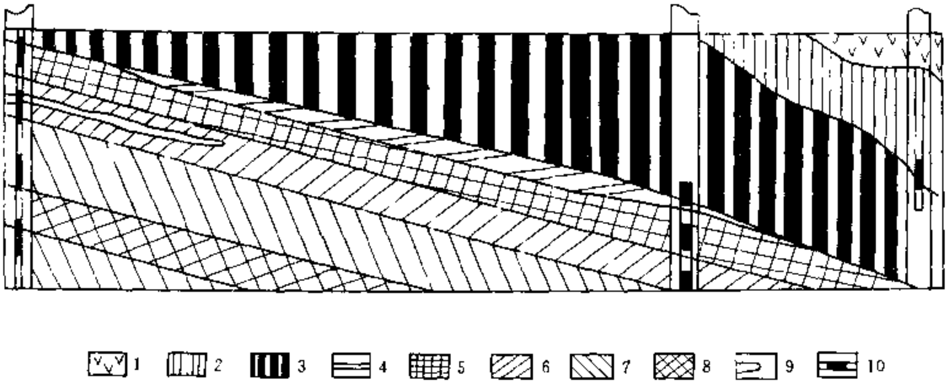


图 6－58 煤种沿倾向分带示意图

1—辉绿岩；2—二级天然焦；3——级天然焦；4—无烟煤；5 贫煤；
6—瘦煤；7—焦煤；8—焦肥煤；9—夹矸；10—采样点

对井下一切揭露侵入体的地点，都应进行观测和素描，观测的内容有下面四个方面。

(1) 岩浆侵入体的颜色、矿物成分、结构与构造特征及岩石类型。

(2) 岩浆侵入体的产状。

(3) 岩浆侵入体与断裂的关系。

(4) 煤层受影响的情况，包括侵入体与煤层的接触关系，天然焦的宽度，煤层的变质程度等。

(二) 对岩浆侵入体的探测

由于侵入体形状变化多端，为指导采掘工作的顺利进行，在岩浆侵入体分布区要专门布置一些探巷和钻孔来探明侵入体的分布范围。

当岩浆侵入厚煤层时，在掘进巷道的同时，每隔一定距离应探测一次侵入体和煤层的厚度变化，得到从顶板到底板完整的煤岩柱状，最后编制剖面图，反映煤层、岩体的分布情况（图 6—59）。

对中厚及薄煤层，可以在同一煤层中布置钻孔或探巷查明侵入体平面分布范围（图 6—60），也可以从邻近煤层的巷道中打钻孔圈定侵入体的分布范围（图 6—61）。

为了查明侵入体附近的煤变质情况，应加强取样化验工作。一般根据岩浆侵入体的形态特征和煤的变质情况布置取样点。同时，还可以根据煤变质的规律变化预测侵入体的分布。

(三) 对岩浆侵入体资料的综合研究

对揭露岩浆侵入体的钻孔、巷道及取样化验资料，加以系统整理和综合分析，编制反映岩浆侵入体分布和煤层变质情况的综合图件，如侵入体分布图、煤质等值线图、相应的剖面图、素描图等，然后提出侵入体分布及煤层煤质预测图。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

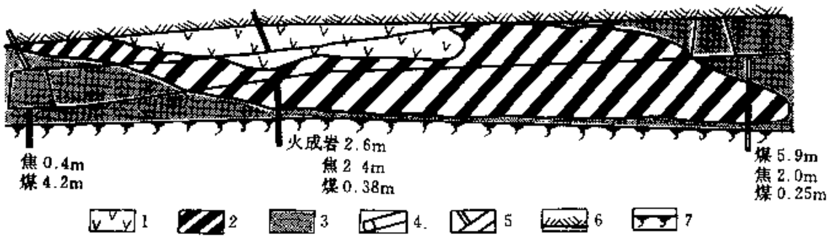


图 6—59 根据钻探编制煤层素描剖面图

1—侵入岩；2—天然焦；3—煤层；4—巷道；5—钻孔；6—煤层顶板；7—煤层底板

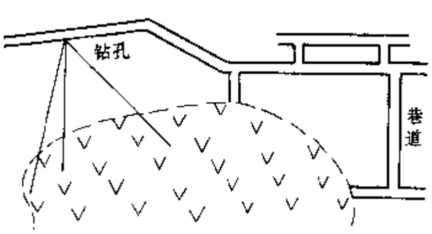


图 6—60 在同一煤层中布置探巷和钻孔平面示意图

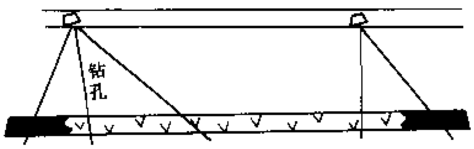


图 6—61 在邻近煤层的巷道中布置钻孔剖面示意图

三、岩浆侵入煤层的处理

掘进巷道遇到岩墙时，可按原设计直接穿过。回采时，可根据岩墙的大小与分布情况，决定是重开切眼还是分两个工作面回采。如果岩墙沿倾向或斜交方向分布，回采至岩墙时，重开切眼，继续回采（图 6—62）。如果岩墙沿走向分布时，可分成上、下两个小面回采（图 6—63）。

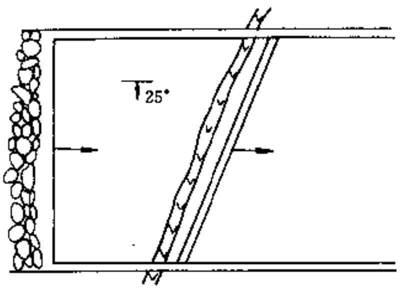


图 6—62 重开切眼示意图

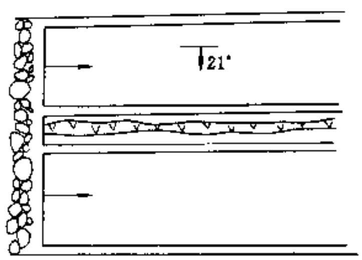


图 6—63 工作面分成两个小面回采示意图

对于岩床，则要求先用探巷和钻孔圈定范围，然后決定回采方案。对串珠状侵入体，如果对煤层破坏不严重，工作面可直接推过，但要增加采面处理侵入体的工序。若侵入体分布区大，残留煤层很薄，只能作为不可采区处理。

第四节 喀斯特陷落柱

喀斯特陷落柱，是喀斯特塌陷的一种类型。它是由于煤层下伏碳酸盐岩等可溶岩层，经地下水强烈溶蚀，形成空洞，从而引起上覆岩层失稳，向溶蚀空间冒落、塌陷，形成筒状或似锥状柱体，故以它的成因和形状取名为喀斯特陷落柱，简称陷落柱，俗称“无炭柱”或“矸子窝”。

在华北一些矿区，陷落柱较发育，其中尤以山西省的太原西山矿区、阳泉矿区、霍州矿区、汾西矿区及太行山东麓的峰峰矿区、井陉矿区特别发育，其它在开滦、鹤壁、新汶、枣陶、徐州、铜川、大同等均有发现。陷落柱发育的矿区，常使煤层遭受到不同程度的破坏，给机械化开采造成极大困难，严重的可使部分煤层失去开采价值。在水文地质条件复杂的矿井，陷落柱是地下水的良好通道，给安全生产造成严重威胁。

一、陷落柱的成因

喀斯特洞穴的发育和喀斯特洞穴塌陷是形成陷落柱的根本原因。

（一）喀斯特洞穴发育的地质条件

（1）煤系或其下部地层中含有可溶性岩层，如石灰岩、石膏层、泥灰岩等。这些岩层易被地下水溶蚀后形成溶洞。

（2）煤系地层分布区域内发育有断裂构造等良好的地下水通道。

（3）地下水源丰富，并且地下水中含有溶蚀性大的各种酸根，如 CO_2 等。

（4）有流畅的排泄口，地下水动力条件好，水的交替循环强烈，有较强的侵蚀“淘空”能力。

（二）喀斯特洞穴致塌机理

喀斯特洞穴是形成陷落柱的前提条件，但并不是所有的喀斯特洞穴都会塌落成陷落柱。导致喀斯特洞穴塌陷是有条件的，目前有以下几种致塌机理。

1. 重力塌陷

喀斯特洞穴顶部承受不了上覆岩层的重力，产生裂隙，导致塌陷。由于地下水的持续活动，溶洞不断扩大，使上覆岩层垮落，形成几米、几十米，甚至上百米的陷落柱。

2. 真空吸蚀塌陷

在相对密封的承压喀斯特溶腔（指充满地下水的溶孔、溶洞）中，由于地下水的排泄、局部的地壳升降等，使溶腔盖层底而由承压转为无压，甚至形成负压。在喀斯特溶腔内不断下降着的水面强有力地抽吸作用下，上面盖层向下陷落，此过程反复进行。同时由于溶腔内外的压差效应，使溶腔外部大气压力对盖层表面产生冲压作用，降低岩层强度，加速盖层宏观平衡的破坏。当溶腔内真空积累达到临界值时，盖层失去平衡，出现瞬间坍塌。喀斯特真空吸蚀作用是解释喀斯特陷落的新观点。

3. 物理化学作用综合塌陷

陷落柱的形成至少是由三种物理化学因素综合作用的结果，包括：岩层内某些物质的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

重结晶作用，如硬石膏的水化作用（$CaSO_4+2H_2O \longrightarrow CaSO_4 2H_2O$），使体积增大30%以上；地下水循环造成的冲蚀和溶蚀作用；有机质分解产物的化学作用，即成煤过程中有机质分解释放出大量H_2O、CO_2、CH_4等物质进入煤系下伏地层，与岩层内部成分发生物理化学作用，使岩层破坏和垮落。

二、陷落柱的特征

（一）陷落柱的基本形态

1．陷落柱的平面形状

陷落柱的平面形状是指陷落柱与某一层面（如煤层顶底面）或地表面相交切的形状。陷落柱的平面形状绝大多数为似圆形和椭圆形，也有长条形和不规则形，如图6－64所示为阳泉三矿揭露的几种陷落柱平面形状。为了表征陷落柱的平面形状，用长轴长度、短轴长度、长短轴比值和长轴方向来表示。

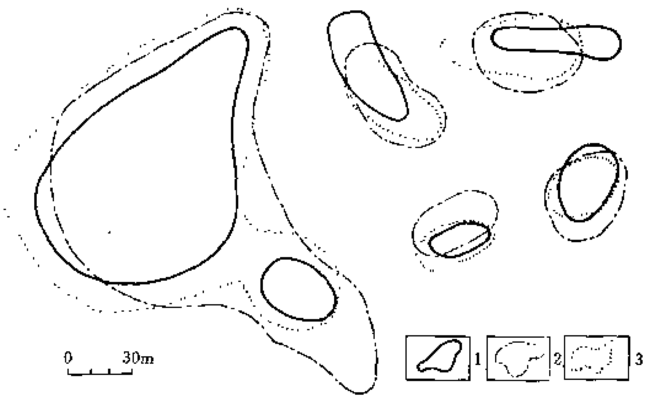


图6－64　阳泉三矿在3号、12号、15号煤层中揭露陷落柱的平面形态及大小对照示意图

（阳泉三矿地测科提供）

1—3号煤层实见陷落柱；2—12号煤层实见陷落柱；3—15号煤层实见陷落柱

2．陷落柱的剖面形状

陷落柱的剖面形状与所穿透岩层的岩性有关。在坚硬岩层，如砂岩、砂砾岩、石灰岩中，由于岩石坚硬不易塌陷，柱体呈现上小下大的锥状，柱面与水平面夹角在60°～80°之间（图6－65*b*）。在第四系松散沉积层或含水较多的松软岩层（如裂隙发育的泥质页岩），由于岩层松软极易塌陷，陷落柱体呈现上大下小的漏斗状，柱面与水平面夹角约为40°～50°（图6－65*a*）。图6－65*c*为某矿实际揭露的一个陷落柱，穿过几个煤层，各煤层破坏程度不一，柱体平面面积大小不一，轴心偏离也大。可见陷落柱剖面形状很不规则，但总体上还是呈现为锥形柱体。由于柱体呈不规则的锥体形状，因此不能简单按照一个塌陷角计算不同层位或不同标高的陷落柱平面面积。

3．陷落柱的高度

从溶洞底面至塌陷顶的垂直距离为陷落柱高度。陷落柱高度与溶洞的大小、地下水排泄条件、岩石物理力学性质及裂隙发育程度等有关，一般可由几十米到一二百米，但也有

高达数百米的巨型陷落柱，有的塌至地表。当底部溶洞体积大、地下水排泄条件良好及岩层裂隙发育时，陷落柱高度就大；反之则小。

4. 陷落柱中心轴

陷落柱各平面中心点的连线称为陷落柱的中心轴线。图6—64显示中心轴大多数不是直立的，而是歪斜甚至扭转弯曲的。陷落柱中心轴通常垂直于塌陷岩层的层面。掌握中心轴变化规律，有助于预测下部煤层或下水平陷落柱的平面位置。

（二）陷落柱的出露特征

1. 陷落柱的地表出露特征

（1）盆状凹陷　陷落柱出露地表后，常呈现盆状凹陷区。凹陷区岩层层序遭到破坏，而其周围岩层层序正常，岩层产状稍向凹陷中心倾斜。凹陷区常被黄土覆盖，在黄土层上常长满茂密的植物，较易识别。

（2）丘状凸起　在石炭二叠纪煤系地层分布区，由粉砂岩和泥质岩组成的二叠系山西组地层中，若见到局部隆起的石盒子组或石千峰组砂岩碎块堆积，是陷落柱的一种地表特征。这是由于石盒子组或石千峰组砂岩较山西组地层坚硬，耐风化，致使山西组地层破坏，而石盒子组或石千峰组砂岩碎块呈现隆起的丘状地形。这种特征在阳泉矿区很典型。

（3）柱状破碎带　在沟谷两侧的自然剖面或公路、铁路两侧的人工剖面上常可见到一些柱状破碎带，此即陷落柱在地表的出露。

（4）特殊地貌形态　在黄土覆盖区，陷落柱常使表层黄土出现大大小小的圆形陷坑，构成形似蜂窝状地貌。有时还出现弧形裂缝，裂缝大小不一，小者几厘米，大者达几米。陷落柱还可以引起地表黄土层产生滑坡现象。

2. 陷落柱的井下出露特征

（1）柱面特征　陷落柱柱面呈不规则状，坚硬岩石不易塌落，呈突出状；松软岩石很易塌落，呈凹进状（图6—66）。

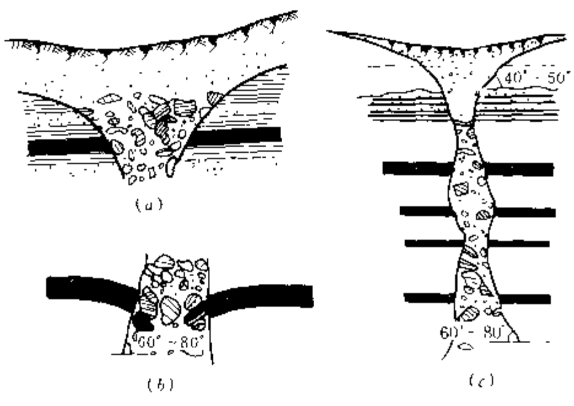


图6—65　陷落柱剖面形状示意图

(a) 松软岩层中的漏斗状；(b) 坚硬岩层中的锥状；(c) 复杂地层中的陷落柱



图6—66　陷落柱柱面的曲折不规则状示意图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

由于陷落柱的水平切面图形为一封闭曲线，所以巷道与柱面相遇处多呈弧线。弧的半径大小与陷落柱平面形状、陷落柱大小、相遇部位有关。如果陷落柱面积大或相遇部位靠近短轴位置，则弧线平缓；反之弧线弯曲较大。据此，可依据弧线弯曲情况判断陷落柱的大小，还可以作为区别断层和陷落柱的标志。

（2）柱体特征　柱体多为较新层位的岩石碎块或第四系松散沉积物充填。柱体内塌落岩块岩性混杂、大小不一、棱角明显。古老陷落柱中的岩块多被胶结，近代塌落的岩块呈松散堆积。

（3）陷落柱内沉淀物　在陷落柱的柱面及柱体内裂隙面上常见到红色的铁质、白色的钙质或高岭土质沉淀物，有时还可见到新生界泥质沉积物。这些是地下水渗入陷落柱产生的沉淀物。

（三）喀斯特陷落柱的分布特点

陷落柱的平面分布不均一，具有明显的分区性和分带性。

陷落柱的形成与喀斯特地下水活动的强烈程度有关，矿区内各个井田的水文地质条件存在差异，因此陷落柱的形成在时间和空间上均有差别，其数量和规模都表现出明显的分区性。由图 6—67 可看出，阳泉矿区南部的马郡头井田和五矿陷落柱最发育；北部的三矿和四矿较发育；最北的固庄矿、荫营矿和中部的二矿、大阳泉矿不发育。

构造裂隙是地下水的良好通道，为形成喀斯特的重要条件。因此喀斯特陷落柱常沿喀斯特化断裂带、褶曲轴，特别是断层交汇处呈串珠状密集分布，表现出明显的分带性。例如徐州大黄山矿陷落柱沿主向斜轴呈带状分布，井陉煤矿的陷落柱沿北东方向呈串珠状展布，均与该区地下水集中径流带关系密切。

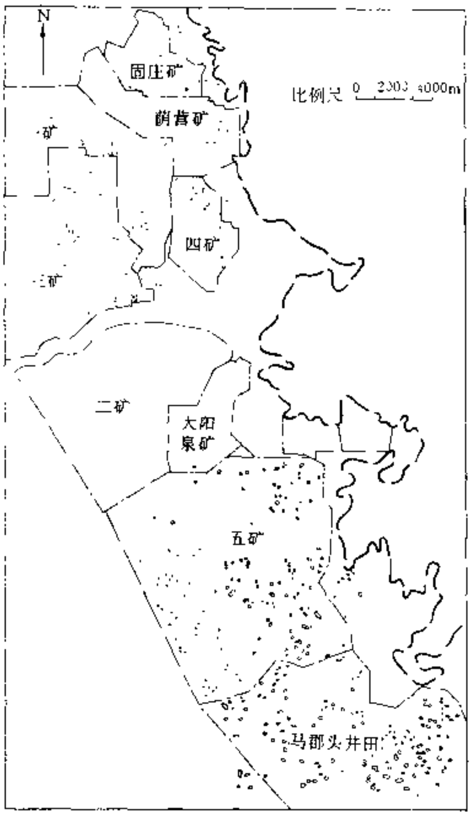


图 6—67　阳泉矿区陷落柱平面分布图
（阳泉三矿地测科提供）

三、陷落柱的观测与研究

（一）陷落柱出现前的预兆

1. 产状变化

陷落柱在陷落过程中，由于牵引作用使围岩向陷落中心倾斜，倾角变化一般 4°～6°之间，个别可达 10°以上，其影响范围一般在 15～20m 范围之内，少数可达 30m（图 6—68）。

2. 裂隙增多

在陷落过程中，陷落柱周围煤岩层产生大量裂隙。裂隙走向平行柱面的切线方向，裂隙面向陷落中心倾斜。裂隙的发育程度与围岩的物理力学性质有关，在脆性岩石中裂隙较

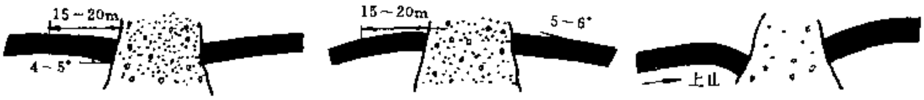


图 6－68　陷落柱周围煤岩层产状变化示意图

发育，在柔性岩石中裂隙较少。在裂隙中，常见有粘土、高岭土、碳酸钙、氧化铁等充填物。

3. 小断层增多

陷落柱周围的煤岩层，由于受塌陷和重力的影响，沿裂隙面向下发生位移产生小断层。此种小断层规模小，走向延长 10～20m，落差多在 0.5m 以内，且都是向陷落中心倾斜的正断层（图 6－69）。

4. 煤质氧化

陷落柱附近的煤层，由于地下水作用，易发生氧化。氧化煤的光泽变暗，灰分增高、强度降低，严重者可变为煤华。煤的氧化程度和影响范围与陷落柱大小、裂隙发育程度和地下水活动有关。陷落柱越大、裂隙越发育、距陷落柱越近、水量越大，影响范围则越大；反之则小。

5. 涌水量增大

陷落柱穿过含水层时，将地下水导入矿井，当巷道接近陷落柱时，涌水量会骤然增加，有时会发生突水事故。其涌水量的大小与该处水文地质条件有关。

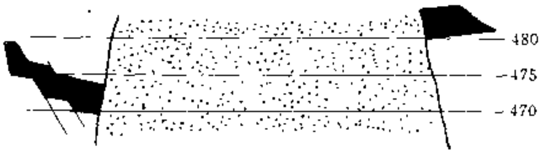


图 6－69　陷落柱围岩中的小断层示意图

（二）井下遇陷落柱的观测

巷道遇到陷落柱，揭露的只是一个很小的接触面（柱面），观测时应确定巷道与陷落柱的相遇部位。由于这种接触面与断层带、冲刷带有相似的特征，必须仔细观察才能作出正确判断。

1. 柱体前的煤岩层特征

与柱体相接触部位的煤层及顶底板岩层产状会稍有变化，倾向柱体，倾角增大或减小，裂隙发育且常呈弧形。煤质亦有变化，光泽变暗，煤质松软、有水锈。

2. 柱面特征

一般为凹凸不平的高角度倾斜面，呈镶嵌状，但也有陡峭的直立面，面上常有水锈，柱面上有煤粉、岩屑组成的软泥，要注意测定柱面与巷底交切弧线的弧度及方向。

3. 柱体内特征

观察岩块的岩性、形状、大小及堆积方式等，要特别注意与揭露点附近的钻孔或石门剖面资料进行岩性对比，判断陷落层位。

4. 利用已有资料

根据上部煤层、地表或上水平的资料，结合观测特征，判断陷落柱的形状、大小及陷

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

落柱的相遇部位（图 6—70）。

（三）陷落柱的探测

为了准确圈定陷落柱的位置、大小、形状和面积，在观测基础上，必须使用探测手段。

1. 钻探

钻探使用的范围较广。在地表可用钻探验证异常区是否有陷落柱存在；在井下可用钻探探测巷道前方或由巷道圈定的回采工作面内有无陷落柱存在（图 6—71）。

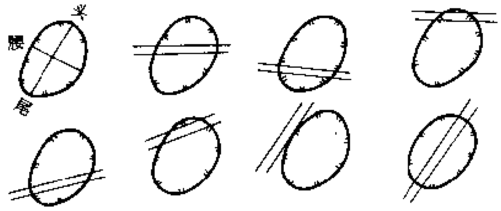


图 6—70 根据巷道与陷落柱交线判断陷落柱大小、形状及相遇部位示意图

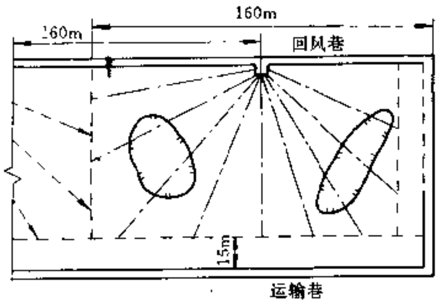


图 6—71 钻孔圈定陷落柱示意图

2. 物探

由于煤层与陷落柱的电性不同，对电磁波具有不同的吸收作用，所以可用无线电波透视法探测工作面内的陷落柱（详见第十四章第一节）。

3. 巷探

巷探能直接进行观察和测定，可靠程度高，但工作量大，费用高。安排巷探时尽可能考虑一巷多用，或采取小断面掘进。

四、陷落柱对煤矿生产的影响及处理

（一）陷落柱对煤矿生产的影响

1. 破坏可采煤层，减少煤炭储量

由于陷落柱本身及其周围不能开采的煤层，使煤炭储量减少。例如汾西富家滩西矿由于陷落柱造成的煤炭损失占全矿总储量的 53%。

2. 影响正规开采

由于陷落柱破坏，无法布置正规回采工作面。

3. 影响采掘施工

由于存在陷落柱，必然增加巷道掘进率，增加岩巷工作量，增加支护难度。陷落柱使开采条件复杂化，降低回采效率，特别是对机械化采煤不利。例如西山杜儿坪矿一个回采工作面由于遇到一个直径 30m 的陷落柱，工作面搬家 49 天，无效进尺 1 027m，经济损失 294 万元。

4. 影响安全

陷落柱可能是矿井水或矿井瓦斯的通道，影响煤矿生产安全。例如 1984 年 6 月开滦范各庄矿 2171 工作面由于陷落柱导水，造成特大水灾，涌水量最大达到 2 053m^3/min。

（二）陷落柱的处理方法

〔1〕设计时尽量把陷落柱留设在煤柱中，既减少煤炭损失，又保证生产安全。

〔2〕掘进遇陷落柱时，如为矿井主要巷道（开拓巷道、采区和采面运输巷道），应按原设计施工，直接穿过陷落柱，同时注意安全生产，特别是防止矿井水或瓦斯的涌出。如果是回风巷，可采取绕过的方法，同时起到探明陷落柱的作用。

〔3〕回采工作面中遇到陷落柱，一般应先探明其形状、大小、位置，然后决定处理方法。如图6－72所示，在回采工作面不同位置上有三个陷落柱，其长轴方向与煤层倾向一致。图中左下角的陷落柱位于运输巷和开切眼交会处，采用开斜切眼，回采时摆尾式开采，将工作面调整到正常位置。对工作面中部的陷落柱，如果面积不大，采用强行硬割的办法通过陷落柱；如果面积较大，则需要预先开掘新切眼，当工作面推进到陷落柱左侧时，倒面搬家，跳过陷落柱继续回采。当陷落柱位于风巷和上山交会处时，采用缩短工作面长度或者用减小溜尾进尺的办法避开陷落柱。

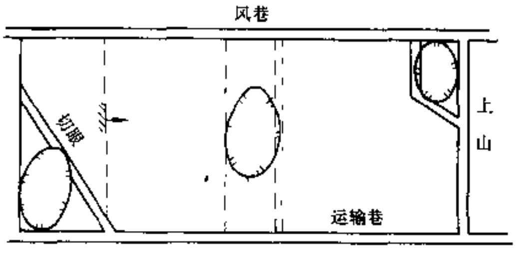


图6－72　回采工作面处理陷落柱示意图

第五节　矿　井　瓦　斯

矿井瓦斯是指煤矿生产过程中，由煤层及其围岩释放出来的一种多成分的混合气体，包含CH_4、N_2、CO_2、C_2H_6、SO_2、H_2S及CO等。瓦斯中甲烷占绝大多数，其次为氮气和二氧化碳，其它成分含量很少。据前苏联顿巴斯矿区统计资料，按体积百分比（即浓度）计算，瓦斯中甲烷占70%～96%，氮气占0.5%～3%，二氧化碳占0.3%～2%。可见甲烷是矿井瓦斯的主要成分。甲烷俗称沼气，分子式CH_4，为无色、无嗅、无味、无毒，可燃和可爆的气体。标准状态下，$1m^3$甲烷重0.716kg，对空气的相对密度为0.554，比空气轻，聚积在巷道上部，微溶于水，易于扩散，渗透岩体的能力为空气的1.6倍。当空气中混有5%～16%的甲烷时，遇高温能引起爆炸，浓度9%时爆炸最强烈。甲烷虽无毒，但空气中含量较大时，使人头痛心跳、呕吐，丧失行动能力，当甲烷浓度超过40%，氧含量下降到12%以下时，使人严重缺氧而窒息死亡。甲烷是一种能源，其发热量大约为$37.656MJ/m^3$。二氧化碳无色、无嗅、略带酸味，易溶于水，是有一定毒性的气体，对空气的相对密度为1.52，比空气重，停积在巷道下部，不助燃，但大量二氧化碳可使人窒息。

煤系地层中的有机物在成煤过程中形成大量的天然气，称为煤成气。煤成气大部分逸散到空气或围岩中，约有3%～24%残存在煤层内，称为煤层气。另有大约1%～15%储集在围岩的砂岩和石灰岩中，称为聚煤气。有人估计，现在世界探明的天然气储量中，煤成气类占60%～70%。

矿井瓦斯和煤层气是由采矿和地质两个学科分别提出的术语，但其所指基本上是一个意思。稍微有点不同的是瓦斯泛指涌入井巷工程中的各种有害气体，包括来自煤层顶底板及采空区的气体，成分较复杂；煤层气是专指储存在固相煤物质中的，成分以甲烷为主包

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

括多种重烃的气藏。应当把矿井瓦斯作为一种矿产资源进行研究，并将煤矿安全生产和开发利用煤层气资源两者紧密结合起来。

一、瓦斯的形成与分带

（一）瓦斯在煤层内的赋存状态

瓦斯在煤层和岩层中有两种存在状态，即游离状态和吸附状态。

1. 游离状态（自由状态）瓦斯

瓦斯以自由的气体状态游离于煤体和围岩的较大的孔隙、裂隙和空洞中，瓦斯分子在空隙内可自由运动。游离状态瓦斯存在量的多少取决于煤层和围岩内自由空间(孔隙率)的多少，同时也取决于气体的温度、压力和压缩系数。

2. 吸附状态瓦斯

又分为吸着瓦斯和吸收瓦斯两种状态。煤中赋存瓦斯以吸附状态最多，约占煤中瓦斯总量的 70%～95%。

1）吸着瓦斯

瓦斯分子被吸着在煤体和岩体的孔隙的内表面，形成一层薄膜（图 6－73）。薄膜的形成是由于气体分子与固体颗粒之间存在着极大的分子引力。吸着量的大小，取决于煤对瓦斯的吸附能力，而吸附能力又取决于煤的孔隙率、变质程度以及外界的温度和压力。

2）吸收瓦斯

瓦斯气体分子进入煤体内部，瓦斯分子与煤分子紧密地结合成固溶体，这和气体被液体所溶解的现象相似。

瓦斯在煤体中存在状态不是静止不变的，而是处于动态平衡中。当外界压力降低或温度升高时，吸附瓦斯可以变为游离瓦斯，这种现象称为瓦斯的解吸；反之，当压力增加或温度降低时，部分游离瓦斯会转为吸附状态，这种现象叫吸附。

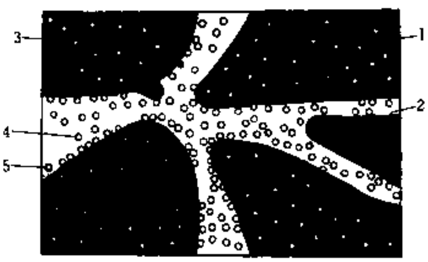


图 6－73　瓦斯在煤体中的赋存状态
1—煤体；2—孔隙；3—吸收瓦斯；4—游离瓦斯；5—吸着瓦斯

（二）瓦斯的形成

瓦斯的形成与煤及煤系地层中的有机质密切相关，主要是在成煤过程中形成的，根据成因，可分为三种形成方式。

1. 生物化学作用形成

在植物成煤第一阶段，有机质分解，当氧气充足时，生成二氧化碳和氮气等气体；在缺氧条件下，由于细菌作用分解析出甲烷、重碳氢化合物、氢及其它气体。如下列化学反应式所示，纤维素分解结果为：

$$\underset{\text{纤维素}}{2C_6H_{10}O_5} \longrightarrow \underset{\text{甲烷}}{CH_4} + 2CO_2 + 5H_2O + \underset{\text{沥青煤}}{C_9H_6O}$$

据计算，1kg 纤维素在变成烟煤过程中，能生成 69.1kL 的甲烷。

此阶段生成的瓦斯，由于离地表近，多逸散到大气中，在煤体中保存的数量较少。

2. 煤变质作用形成

泥炭被其它沉积物覆盖，受地压和地热影响，其化学成分发生变化，氧、氢、硫、

氮的含量降低，碳含量相对富集，并生成了以甲烷、氢为主的气体及重碳氢化合物等其它气体。岩浆侵入煤层发生接触变质时，也可生成重碳氢化合物、氢和甲烷。

此阶段生成的瓦斯，由于在地下深处，不易逸散。目前煤层中含有的瓦斯绝大部分属这种成因。

据计算，在理想条件下，每生成一吨煤，伴随生成1 000m^3的甲烷和二氧化碳等气体。其中，二氧化碳多数被流动的地下水吸收；甲烷在漫长的地质年代中，大部分被自然排放，只有一部分被保存在煤层和岩层中。据测试，在自然条件下，煤中最大瓦斯容量可达35～45m^3/t。

3. 油型气来源

油型气系指矿井瓦斯的来源是油气田的瓦斯侵入。例如陕西铜川焦坪煤矿中，瓦斯与顶底板砂岩含油层有关；四川中梁山10号煤层瓦斯与底板石灰岩溶洞中的瓦斯有联系。

（三）瓦斯分带

经过对许多煤矿不同深度瓦斯成分的分析，证实矿井瓦斯具有分带现象（图6—74）。图中自上而下按瓦斯成分不同划分为四个带：

①氮气—二氧化碳带，CO_2大于20％；

②氮气带，N_2大于80％、CH_4小于20％；

③氮气—甲烷带，CH_4为20％～80％、N_2为80％～20％；

④甲烷带，CH_4大于80％、N_2小于20％。

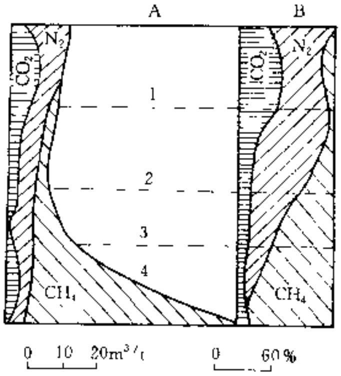


图6－74 瓦斯分带示意图

A—m^3/t；B—占瓦斯总量的百分比；

1—N_2—CO_2带；2—N_2带；

3—N_2—CH_4带；4—CH_4带

前三个带统称为瓦斯风化带，瓦斯风化带下界的确定可按以下原则：

①在煤体中所含瓦斯的沼气成分大于80％。

②在煤层中瓦斯压力为0.15～0.2MPa。

③在相同自然条件下（如水分、温度）与甲烷压力为0.15～0.20MPa相当的瓦斯含量：气煤为1.5～2.0m^3/t；粘结煤为2.0～2.5m^3/t；瘦煤为2.5～3.0m^3/t；贫煤为3.0～4.0m^3/t；无烟煤为5.0～7.0m^3/t。

④矿井相对瓦斯涌出量大于2m^3/t。

我国各煤矿区瓦斯风化带的深度差别很大。如开滦赵各庄为480m，湖南红卫、马田、立新等矿不到100m，一般深200～300m。影响瓦斯风化带深度的因素有：水的循环，当地下水循环快时风化带深；煤层出露情况，若为暴露式煤田风化带深；地质构造，如开放性构造风化带深；顶板性质，如砂岩顶板易逸散，风化带深。

在瓦斯风化带以下，煤的瓦斯含量、瓦斯压力和瓦斯涌出量，都随着煤层埋藏深度的增加而有规律地增大，通常呈正线性关系。

二、煤层瓦斯含量的影响因素及其预测

瓦斯含量是指单位重量（或体积）的煤体或岩体在自然条件下所含的瓦斯数量（包括游离瓦斯和吸着瓦斯），单位m^3/t。

（一）影响瓦斯含量的地质因素

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

煤中生成的瓦斯量与储存的瓦斯量差别很大。不同的煤田，同一煤田的不同井田，同一井田的不同采区，其瓦斯含量有很大差别。形成这种差别的地质因素有六个方面。

1. 煤的变质程度

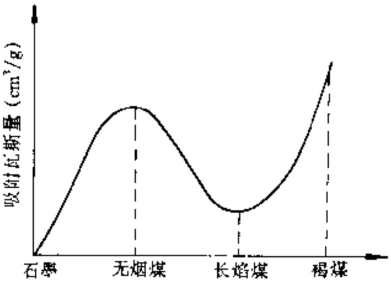


图 6—75 不同煤质对瓦斯吸附能力的影响示意图

煤对瓦斯的吸附能力，决定于煤质和煤的孔隙，不同的煤质对瓦斯的吸附能力不同（图 6—75）。在成煤初期，煤的结构疏松，孔隙率大，瓦斯分子能渗入煤体内部，故褐煤具有很大的吸附能力。但在自然条件下，褐煤本身尚未生成大量瓦斯，即使生成了瓦斯也不易保存，所以瓦斯含量很小。在煤的变质过程中，地压不断增大，煤的孔隙率减小，煤质逐渐致密。长焰煤的孔隙和表面积都比较小，所以吸附瓦斯的能力大大降低，最大吸附量在 20～30m^3/t 左右。随着煤的进一步变质，在高温高压下，煤体内部由于干馏作用而生成许多微孔隙，使表面积到无烟煤时达到最大，因此无烟煤的吸附能力最强，可达 50～60m^3/t。在强大的地压继续作用下，微孔隙收缩减少，到石墨时变为零，其吸附能力消失。

吸附能力大的煤不一定瓦斯含量大。有些无烟煤矿井，由于不具备瓦斯保存条件，煤层瓦斯含量并不大。

2. 围岩和煤层的渗透性

瓦斯在煤层中是有压力的，因而不断运移和排放，其运移和排放的速度与围岩和煤层的渗透性有关。如果煤层和围岩的渗透性大，则瓦斯不易保存；反之，则能保存。如大同和北京西郊的侏罗纪煤系，其煤层顶板为砂岩、孔隙、裂隙发育，瓦斯排放条件好，煤层中的瓦斯含量小；抚顺第三纪煤系、煤层顶板为百余米厚的致密油页岩，瓦斯不易排放，煤层中瓦斯含量很大。

3. 地质构造

断层在某些情况下有利于瓦斯的排放，而在某些情况下却能促使瓦斯在煤层中聚积。一般张性断裂有利于排放，压性断裂不利于瓦斯排放，甚至有一定的封闭作用。褶皱构造对瓦斯分布也有重要影响，当顶板为致密岩层且未暴露地表时，一般在背斜处瓦斯含量由两翼向轴部增大，在向斜槽部瓦斯含量减少；当顶板为脆性岩层且裂隙较多时，背斜轴部瓦斯含量减少，在向斜轴部瓦斯含量增大。地质构造是造成同一矿区内瓦斯含量差别的主要原因。

4. 地下水活动

在地下水活动的区域，瓦斯可以随地下水的流动而排放。水分子被吸附在煤或裂隙表面后，减弱了煤对瓦斯的吸附能力。同时，水分占据了煤孔隙空间，排挤了自由状态的瓦斯。

5. 煤田暴露程度

暴露式煤田含煤地层出露地表，瓦斯排放容易。隐伏式煤田，若含煤地区的覆盖层为不透气岩层且厚度大时，则不利于瓦斯的排放。

6. 煤层埋藏深度

瓦斯含量随深度增大而增加。在瓦斯风化带以下，瓦斯含量、瓦斯压力、瓦斯涌出量与深度的增加都呈一定正比例关系。对于同一个矿井来说，它们各自的变化率基本上一致。为说明瓦斯含量与深度的关系，特提出瓦斯梯度、瓦斯含量梯度和瓦斯压力梯度的概念。瓦斯梯度是指矿井瓦斯相对涌出量每增加 $1m^3/t$ 时所增加的深度。瓦斯含量梯度是指同一矿井内瓦斯含量每增加 $1m^3/t$ 时所增加的深度。瓦斯压力梯度是指矿井瓦斯压力每增加 0.1MPa 时，所增加的垂直深度。不同矿区和不同井田的瓦斯梯度是有差异的，在同一井田的一定范围内，瓦斯梯度则是比较稳定的（表 6－4）。

表 6—4 我国一些矿井瓦斯梯度值

矿　　名	风化带下限（m）	瓦斯梯度（$m/m^3 \cdot t$）
开滦赵各庄矿	480	29
焦作焦西矿	90	15
抚顺龙凤矿	200	10
辽源西安矿	131	8.2
阳泉四矿	50	2.7

除上述因素外，煤层厚度变化、岩浆侵入等对瓦斯含量均有直接影响。

（二）煤层瓦斯含量的测定

矿井瓦斯涌出量是矿井设计资料的重要组成部分，是确定开拓系统、采煤方法、通风系统、主要风巷断面大小等的主要依据。矿井瓦斯含量的测定方法有两种。

1．直接测定法

使用密闭式岩心采取器或集气式岩心采取器，直接采集全层瓦斯煤样，送化验室测定单位煤量中含有的瓦斯量及瓦斯成分。还可以用半自动测井仪在钻进的同时测定煤层瓦斯含量。

2．间接测定法

即室内容量法。把未经氧化的新鲜煤样，装入容器，盖紧密封、送进实验室。根据实验室作出的吸附数据和井下煤层的实测瓦斯压力，用各种影响系数校正后，计算得出煤层瓦斯含量。

（三）瓦斯含量预测图的编制

瓦斯含量预测图是瓦斯涌出量预测的基础资料，可用于分析矿区内瓦斯含量变化规律，也是瓦斯抽放设计的重要依据。预测图的主要内容包括：瓦斯取样点、各取样点煤层的实际瓦斯含量、瓦斯风化带界线及瓦斯含量等值线等。编制瓦斯含量预测图应按下列规定进行：

（1）编图的底图　瓦斯含量预测图常以煤层底板等高线图作为底图，分煤层编制。

（2）编图资料　有定性和定量的取样成果资料，前者是指从煤心中抽出的并经过化验确定的瓦斯成分及各种成分所占的百分数，后者是指自然状态下煤层的瓦斯含量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3) 编图步骤　首先填绘取样点，并着色，在各取样点（钻孔）旁边注明瓦斯含量、煤层底板标高、离地表深度，然后作瓦斯含量等值线，并标明瓦斯风化带，根据实见地段的规律，结合地质条件进行等值线外推。

三、矿井瓦斯涌出量及矿井瓦斯等级

（一）矿井瓦斯涌出现象

煤矿开采过程中，由受采动影响的煤层、岩层，以及由采落的煤、矸石向井下空间放出瓦斯的现象称为瓦斯涌出。按瓦斯放出的形式不同，分为普通涌出和特殊涌出。

1. 普通涌出

瓦斯从煤岩层的孔隙和裂隙中长期缓慢逸出的现象称为普通涌出。首先涌出的是游离瓦斯，然后是解吸成游离瓦斯的吸附瓦斯。普通涌出是矿井瓦斯放出的主要形式。

2. 特殊涌出

分为瓦斯喷出和煤（岩）与瓦斯突出两大类。瓦斯喷出是指大量承压瓦斯从煤体或岩体裂隙中大量异常涌出的现象。瓦斯喷出常伴有嘘嘘的响声，但不产生煤与岩石抛出的动力现象。煤（岩）与瓦斯突出是指在采掘过程中，在地应力和瓦斯的共同作用下，破碎的煤、岩和瓦斯由煤体或岩体内突然向采掘空间抛出的异常的动力现象。煤（岩）与瓦斯突出常伴有强烈的声响，是冲击力量很大的一种冲击地压现象（图 6—76）。

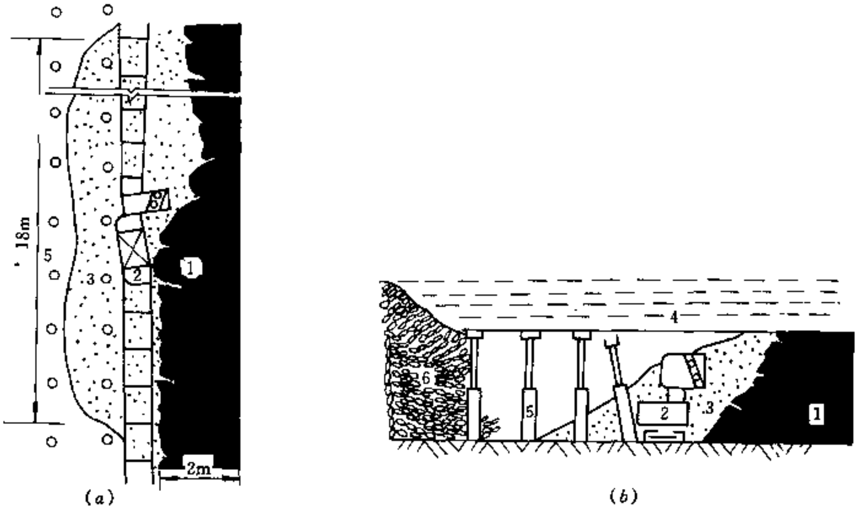


图 6—76　阳泉三矿一号井 402 工作面突出图

(*a*) 平面图；(*b*) 剖面图；1—煤层；2—采煤机；3—压出煤堆；4—顶板；5—金属支架；6—冒顶区

（二）矿井瓦斯涌出量

矿井瓦斯涌出量是指矿井生产过程中实际涌入采掘空间的瓦斯数量。它的表示方法有两种。

(1) 绝对瓦斯涌出量　指矿井在单位时间内涌出的瓦斯量，单位用 m^3/d 或 m^3/min 表示。

(2) 相对瓦斯涌出量　指矿井在正常生产情况下，平均每产 1t 煤所涌出的瓦斯量，单

位用 m^3/t 表示。

由于矿井瓦斯来源不仅是采掘工作面采落的煤炭散放的瓦斯，还包括各种煤柱、煤壁、岩帮和采空区排出的瓦斯；另外当煤体中的吸附状态瓦斯转为游离状态瓦斯时体积必然增大，因此瓦斯相对涌出量总是比煤层瓦斯含量高。在开采条件和地质条件大致相同时，两者的比值相对稳定。矿井瓦斯相对涌出量不仅受自然因素的影响，而且还受开采技术因素的影响，因此比煤层瓦斯含量的影响因素更复杂。

（三）瓦斯矿井等级

瓦斯矿井等级是根据矿井的相对瓦斯涌出量和涌出形式划分的矿井等级。过去把瓦斯矿井等级划分为四级：一级瓦斯矿，相对瓦斯涌出量小于 $5m^3/t$；二级瓦斯矿，相对瓦斯涌出量 $5\sim10m^3/t$；三级瓦斯矿，相对瓦斯涌出量 $10\sim15m^3/t$；超级瓦斯矿，相对瓦斯涌出量大于 $15m^3/t$ 及具有煤与瓦斯突出危险。现在把瓦斯矿井等级划分为三级：低瓦斯矿井，相对瓦斯涌出量 $10m^3/t$ 以下；高瓦斯矿井，相对瓦斯涌出量 $10m^3/t$ 以上；煤（岩）与瓦斯突出矿井，指在采掘过程中发生过煤（岩）与瓦斯突出的矿井。

四、防治煤（岩）与瓦斯突出的地质工作

煤（岩）与瓦斯突出对煤矿生产具有严重威胁。截至 1980 年，我国已有 205 对矿井共发生了 7 765 次突出，最大的一次突出发生在天府煤矿三汇坝一矿，突出煤与岩石达 12 780t、瓦斯 120 万 m^3。

（一）煤（岩）与瓦斯突出的地质因素分析

煤（岩）与瓦斯突出的发生是各种自然因素综合影响的结果。这些因素是：地应力（包括地层静压力、地质构造的残余应力和矿山压力）、瓦斯含量和瓦斯压力、煤的物理力学性质等。这些因素多与地质条件有关。

1. 煤层的埋藏深度

地层的静压力随着深度增加而增大，地层静压力越大，瓦斯突出的可能性也越大，突出的次数增多，强度加大。

2. 地质构造和地应力

许多矿井的瓦斯突出主要集中在某些地质构造带内，突出点发生的位置多与某些地质构造部位有关。如强烈挤压的褶皱带、扭折带、倾角变化的转折点、断层附近等，这些地质构造部位应力比较集中，由于采掘工程破坏了原有平衡，导致地质构造残余应力的突然释放，引起煤与瓦斯突出。

3. 煤层厚度变化

煤厚变化带往往是容易发生突出的地点。我国多数瓦斯矿井中，煤与瓦斯突出大都是发生在厚煤层和中厚煤层中，特别是软煤分层厚度增加的地点。这是由于厚的软煤层中瓦斯含量和瓦斯压力相对要大一些。

4. 煤的物理力学性质

有突出危险的煤层，一般具以下特点：煤层的弹性应变超过全部应变的 70%；煤中孔隙多，当煤层破坏时，瓦斯能够迅速扩散形成瓦斯流，冲破煤体，运送煤炭；煤层及其围岩的透气性较低，煤中瓦斯逸散困难，因而在煤层中能保持较高的瓦斯压力和瓦斯含量；煤质疏松，呈碎粒状结构，容易破碎；煤的显微结构中有大量空洞，由毛细管相通。

5. 煤变质程度

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

变质程度高的煤比变质程度低的煤突出的可能性要大，因为高变质煤的瓦斯含量和瓦斯压力都大于低变质煤。

6. 地下水活动

地下水活动强烈的地区，常是张性断裂较发育的地区，地下水不仅将岩石中可溶蚀的矿物质带走，而且给瓦斯排放和流动创造了有利条件，因此涌水量大的矿井较涌水量小的矿井突出的危险性小。

（二）防治煤（岩）与瓦斯突出的地质工作

1. 作好突出点的地质编录

突出发生后，应对突出地点进行观测，并作文字记录和素描。记录的内容包括：突出时间、地点、突出点标高、突出温度、距地表垂深、突出强度、巷道类别、突出前作业方式及所采取的措施、突出类型及突出前的预兆等。地质描述包括：突出点和突出空洞所在煤层或煤分层位置、煤质及煤层结构、煤层顶底板岩性、煤层厚度及其变化、突出点附近的构造特征、岩层产状及其变化、与岩浆侵入体的关系等。文字说明与素描图相配合，并建立突出点记录卡片。

2. 编制突出点分布图

瓦斯突出点应及时填绘到采掘工程平面图或其它地质图上，作为分析突出点分布规律的基础图件。突出点分布图上应反映突出强度、瓦斯含量和瓦斯压力等数据，并对突出强度进行分级。

3. 收集瓦斯地质预报资料

有关瓦斯地质预报的资料包括：煤厚变化特征及变化带具体位置；褶曲轴位置、煤层倾角变化点、断层交汇点和断层尖灭点；煤层结构、各煤分层的煤岩物理性质特征及其变化；岩浆侵入体的具体位置等。

4. 分析瓦斯突出与地质条件的关系

通过对突出点分布图及瓦斯地质预报资料的分析，寻找突出规律，找出突出与地质条件的关系。这方面工作包括：①鉴别突出危险增大的标志，如煤层厚度及产状急剧变化、煤体结构变化等；②查明突出前的预兆，如响煤炮、工作面压力增大、煤壁外鼓、瓦斯含量增大或忽大忽小等。

5. 编制瓦斯突出预测图

在以上工作基础上，对矿区或煤层突出危险程度进行分类，可划分为四类：①无突出危险区，即未发生或不可能发生突出的区域；②疑突出危险区，即怀疑有突出危险，需观察待定突出危险程度的区域；③突出危险区，指突出次数不多，强度属小型，平均采 1000t 煤突出煤量在 1t 以下的区域；④严重突出危险区，指突出频繁，曾发生过中型以上突出，一次突出强度在 100t 以上，平均采 1000t 煤突出煤量在 1t 以上的区域。在预测图上圈出不同突出危险程度的区域，并尽可能预测发生突出的地点和突出强度。

第六节 煤层顶底板

一、煤层顶底板对煤矿生产的影响

1. 影响回采工作面的连续推进

当回采工作面遇断层后，一般采用挑顶挖底的方式通过断层，如果断层使得煤层与坚硬的砂岩或砂砾岩顶板或底板接触，不仅采煤机组很难通过，甚至连炮采工作面也不得不终止推进而另开切眼。

2. 顶底板的破坏可导致突水事故

如果煤层顶底板含有石灰岩等富水含水层，当煤层开采后，其顶底板会遭破坏变形（如顶板破碎垮落、断裂、弯曲及底板隆起等），可能导致地下水分布变化，诱发突水事故。

3. 影响支护密度、支护形式及支护性能

顶板的类型直接影响其支护密度和支护形式；而底板岩石的刚度则直接影响到支架的支护性能。如单体支柱的底面积仅 $100cm^2$，在底板比较松软的情况下，支柱很容易插入底板（俗称插针），从而失去对顶板的支撑作用。若底板为泥岩时，则会遇水膨胀变软，甚至呈泥状，使采煤、运输机械下沉，使支架失去对顶板的控制，从而影响生产。

二、煤层顶底板条件的研究

（一）煤层顶底板的研究方法

（1）根据钻孔、井巷和采场揭露的顶底板资料，分析煤层顶底板的岩石性质、分层厚度、组合特征、层理和裂隙发育程度及其横向变化情况，编制煤层顶板岩性分布图，分区建立顶板岩性组合柱状图，为煤层顶板条件预测评价提供资料。

（2）分析研究井田地质构造展布规律及其对顶板条件的影响。小褶皱、小型断层、节理裂隙、层间滑动及层面擦痕等都会使顶板条件恶化，应将这些由于构造因素而使顶板条件恶化的范围圈定出来。

（3）由于机械化采煤要求地质研究定量化，因此应尽量分区分类采集顶底板岩石样品，进行物理力学性质测试和微观鉴定，以了解岩石的坚固性、可塑性和吸水膨胀性。

（4）收集开采过程中各类顶板的矿压显现及稳定状况的资料，通过相似对比，对未采区的顶板类型和稳定性作出预测评价。

（5）编制顶板条件类型预测图和顶板地质险情分析图。顶板条件类型预测图主要表示直接顶厚度、直接顶厚度与煤层采高比值、直接顶岩性、断裂带分布、地下水的压力及运动情况等，有条件的可以通过与相邻已采区类比确定顶板类级。图 6－77 是山西大同永定庄矿 12 号煤层顶板分级预测图。顶板地质险情分析图反映不同险情指数的分布及顶板条件好坏的分区位置，图 6－78 为险情分析图实例。

（二）煤层顶底板条件分类

原煤炭工业部于 1981 年首次颁发了“缓倾斜煤层工作面顶板分类方案”，该方案将直接顶分为 1～4 类，将基本顶（老顶）分为 Ⅰ～Ⅳ 级。1996 年对“缓倾斜煤层采煤工作面顶板分类”作了新的调整划分，作为部颁标准从 1997 年 2 月 1 日实施。

1. 直接顶分类

原煤炭工业部于 1996 年按直接顶在开采过程中的稳定程度，即依据直接顶初次垮落平均步距 $\bar{l}_t$，参考顶板岩性和节理（裂隙）发育情况、分层厚度及岩石单向抗压强度等，将直接顶板划分为四类（表 6－5）。

表中 l_t 为直接顶初次垮落距，是指垮落高度超过 0.5m，沿工作面方向垮落长度超过工作面总长度 1/2 时，工作面煤壁到切眼煤壁之间的距离。若已采多个工作面，则求其算术平均值 $\bar{l}_t$。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

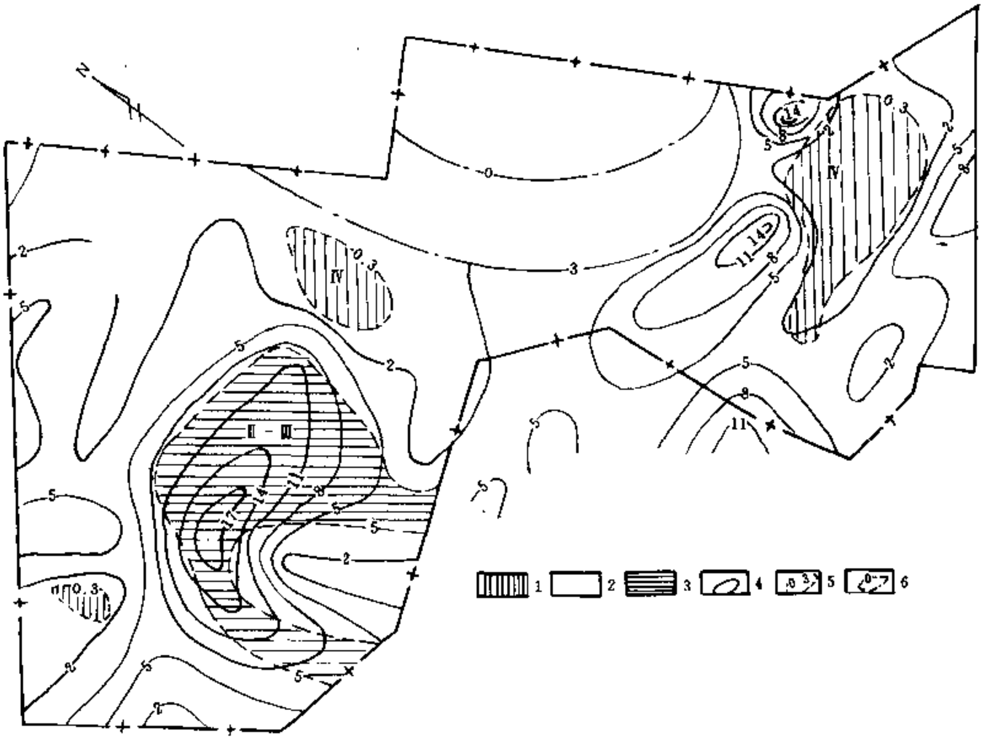


图 6－77　山西大同永定庄矿 12 号煤层顶板分级预测图

1－Ⅳ级顶板区（基本顶来压极强烈区）；2－Ⅲ级顶板区（基本顶来压强烈区）；
3－Ⅱ～Ⅲ级顶板区（基本顶来压明显～强烈区）；4－直接顶厚度等值线；
5—直接顶厚度与煤层采高比值等值线；6—11 号煤与 12 号煤层间距等值线

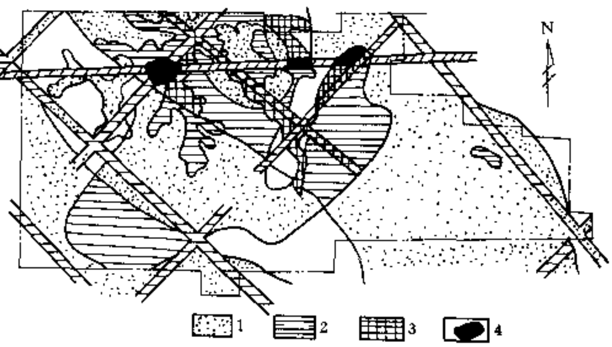


图 6－78　顶板险情分析图

1—顶板险情指数 0～5，顶板条件好；2—顶板险情指数 6～10，顶板条件较好；
3—顶板险情指数 11～15，顶板条件较差；4—顶板险情指数大于 15，顶板条件极差

表 6—5 直接顶分类指标及参考要素表

类别	1 类		2 类	3 类	4 类
	不稳定		中等稳定	稳定	非常稳定
	1a	1b			
基本指标	$\bar{l}_t \leqslant 4$	$4<\bar{l}_t \leqslant 8$	$8<\bar{l}_t \leqslant 18$	$18<\bar{l}_t \leqslant 28$	$28<\bar{l}_t \leqslant 50$
岩性和结构特征	泥岩、泥页岩、节理裂隙发育	泥岩、碳质泥岩、节理裂隙较发育	致密泥岩、粉砂岩、砂质泥岩、节理裂隙不发育	砂岩、石灰岩、节理裂隙很少	致密砂岩、石灰岩、节理裂隙极少
单向抗压强度 MPa	$\sigma_c=27.94\pm10.75$	$\sigma_c=36\pm25.75$	$\sigma_c=46.3\pm20$	$\sigma_c=65.3\pm33.7$	$\sigma_c=89.4\pm32.6$

（引自贾喜荣《矿山岩层力学》，1997（经简化））

2. 基本顶（老顶）分类

原煤炭工业部于 1996 年按基本顶来压显现强度将基本顶划分为 Ⅰ～Ⅳ级（表 6—6）。

表 6—6 基本顶分级指标及名称表

级别	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	
				Ⅳa	Ⅳb
名称	不明显	明显	强烈	非常强烈	
分级指标	$\bar{P}_e \leqslant 895$	$895<\bar{P}_e \leqslant 975$	$975<\bar{P}_e \leqslant 1\ 075$	$1\ 075<\bar{P}_e \leqslant 1\ 145$	$\bar{P}_e>1\ 145$

（引自贾喜荣《矿山岩层力学》，1997 年）

表中分级指标 $\bar{p}_e$ 是基本顶初次来压平均当量，初次来压当量 P_e 可由下式确定：

$$P_e=241.3\ \ln\ (L_f)\ -15.5N+52.6h_m \qquad (6-3)$$

式中 P_e——基本顶初次来压当量，kN/m^2；

L_f——基本顶初次来压步距，m；

N——直接顶充填系数；

h_m——煤层采高，m；

ln——自然对数。

当基本顶初次来压步距 L_f 不超过工作面长度的 1/2 时采用实测值，若超过工作面长度的 1/2 时则需作一定的修正。如已知基本顶周期来压步距 L_p，可用 $L_f=2.45L_p$ 推算初次来压步距值。直接顶充填系数亦可用 $N=\frac{h_i}{h_m}$（h_i 为直接顶厚度）进行推算。当直接顶厚度小于 6 倍采高时，采用实测值计算；当直接顶厚度大于 6 倍采高时，取 $h_i=6h_m$。然后计算出初次来压当量，并以其平均值对照表 6—12 判定该煤层基本顶级别。

综合考虑直接顶类别和基本顶级别，可得到表 6—7 的几种组合。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6—7 煤层顶板的类型组合

基本顶级别	Ⅰ			Ⅱ			Ⅲ				Ⅳ
直接顶类别	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	4

（引自贾喜荣《矿山岩层力学》，1997（经删简））

3. 伪顶分类

原煤炭工业部于 1996 年按伪顶自然垮落厚度将伪顶分为 1～5 度（表 6—8）。

表 6—8 伪 顶 分 类 表

度	1	2	3	4	5
伪顶自然冒落厚度 i (cm)	$i<20$	$20\leqslant i<30$	$30\leqslant i<40$	$40\leqslant i<50$	$i\geqslant 50$

（引自贾喜荣《矿山岩层力学》，1997）

4. 煤层底板分类

原煤炭工业部于 1996 年根据采煤工作面底板的压入特性将底板划分为Ⅰ～Ⅴ类（表 6—9）。

表 6—9 缓倾斜煤层工作面底板分类表

底板类别及代号	极软Ⅰ	松软Ⅱ	较软Ⅲ		中硬Ⅳ	坚硬Ⅴ
			$Ⅲ_a$	$Ⅲ_b$		
一般岩性	充填砂、泥岩、软煤	泥页岩、煤	中硬煤、薄层状页岩	硬煤、致密页岩	致密页岩、砂质页岩	厚层砂质页岩、粉砂岩、砂岩

（引自贾喜荣《矿山岩层力学》，1997）

第七节 地温与矿山压力

一、地温

随着煤矿开采深度的不断增加及其它地质因素的影响，我国不少矿井的井下温度超过《煤矿安全规程》规定的许可范围（26℃），有的煤矿井下温度甚至高达 44℃，出现了不同程度的热害。

（一）引起煤矿地温异常的因素

1. 矿区所处大地构造位置

在地壳强烈活动区，地震、岩浆活动强烈，高温热泉广布，因此地温高、热流值大、地

热梯度大，而且变化剧烈；而在地壳相对稳定区，地温状况正好相反，热流值小、地温低、地热梯度小而且较为均一。因此，煤矿地温明显受矿区所在大地构造位置的影响。

2. 岩石的导热性

地球内部的热能是通过岩石向外传导的，不同岩石具有不同的导热能力。大多数火成岩、石灰岩、砂岩等导热性强，传热快，在这些岩石分布的地区表现出地温的低异常；而泥岩、页岩、煤等，导热性差，传热慢，在这些岩石分布的地区表现出地温的高异常。煤系地层上覆的松散沉积物，导热性很低，对下伏煤系地层的地热起隔热保温作用。同时，在覆盖层厚的地方，大气降水和地表水对地下水的补给条件较差。因此，在煤系上部松散覆盖层较厚的矿区，地温和地温梯度相对较高。

3. 矿区基底起伏与褶皱构造

在一定深度范围内，基底隆起区比相邻沉陷区地温要高，地温梯度大；背斜部位比相邻向斜部位地温要高，地温梯度大。这主要与岩石的热导率及其异向性有关。基底隆起区的古老岩系比相邻的沉陷区沉积盖层岩性要致密，热导率高，热流向热阻率较小的隆起区流动，使隆起区内的热流值、地温、地温梯度高于沉陷区。在褶皱地区，沉积岩的热导率顺层方向比垂直层面方向高，自下而上传导的热流，由向斜部位向背斜部位汇集，致使背斜区的热流值、地温和地温梯度高于相邻向斜区。

4. 矿区邻近深大断裂

深大断裂通达上地幔，是深部炽热物质——热载体上升的通道。因此，邻近深大断裂两侧的含煤盆地，往往热流值偏大，地温偏高，出现大量温泉。但是深大断裂各段的力学性质、围岩的热物理性质以及热载体沿深大断裂上升的位置不同，因而深大断裂两侧并非到处都呈现高温异常。

5. 矿区地下水活动

地下水对地温场的影响，受地下水活动方式控制。

(1) 地下水强烈活动区 地下水补给充足，径流强烈，排泄通畅，水温低于岩温，地下水带走岩石热量，降低岩石温度，形成地温低、地温梯度小的低地温异常区。如太行山东麓、燕山南麓、泰山北麓等地区，由于奥陶系石灰岩喀斯特水的强烈循环，使煤系地层冷却，地温梯度仅为1～2℃/100m，1 000m深处岩温不超过28℃，奥陶系灰岩的地温梯度接近于零。

(2) 大型自流盆地 地下水长期停滞，循环交替较弱，地下水与围岩热交换已达平衡，水温等于岩温，形成地温和地温梯度均为中常的地区。地温梯度一般为2～3℃/100m。

(3) 深循环热水上升区 地表和浅层地下水渗流至地下深处，与高温围岩进行热交换获取热量，成为热容量很大的热载体——承压高温热水。在合适的地质构造条件下，高温热水沿通道上升到浅部或地表，在上升通道的周围形成局部的高温异常带。若矿井开采过程中遇到这种热水，就会造成井下热害。

6. 局部热源影响

(1) 岩浆侵入体的余热 岩浆余热是否对现代地温场仍有影响，主要决定于岩浆侵入的时间。一般认为，超过50万a的浅成侵入体，可不考虑它对现代地温场的影响。在分析近期岩浆侵入体余热对地温场的影响时，还需要注意侵入体的大小、形状、初始温度和围岩的热物理性质。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(2) 放射性元素的富集　放射性元素的衰变虽然是整个地球内热的主要热源之一，但是处于地壳浅部的放射性元素富集矿床所产生的热量却很小，在开采过程中并无明显的热异常。

(3) 硫化矿床的氧化热　近地表处的硫化矿床，因氧化生热是一个不可忽视的局部热源。据测定，一克分子黄铁矿充分氧化可产生 5 400kJ 的热量。但是，这类矿床只要过了氧化带再向深部，地温又可恢复正常。

7. 人为因素影响

矿井通风、排水和井下大功率机电设备运转生热，钻进过程中泥浆循环和钻头摩擦生热等人为因素对地温和测温数据都有一定影响。其中，以通风和排水的影响比较重要。在矿井长期通风的过程中，由于空气和岩石产生热交换而使原始地温降低；在矿井长期排水的情况下，在地下水降落漏斗范围内，岩温因地下水流动也会降低。

（二）我国矿区的地热类型

1. 基底抬高型

热流值高，地温偏高，地温梯度大。平均地温梯度为 3.1～4.5℃/100m，500m 深处温度达 30～36℃，1 000m 深处温度可达 45～50℃，普遍具有热害。例如平顶山矿区。

2. 基底沉陷型

热流值正常或略低，热流自沉陷中心向外散发，在盆地内部平均地温梯度为 2.1～3℃/100m，深度小于 500～600m 的矿井，一般不会出现热害。以新汶、兖州矿区为代表，淮南、淮北矿区也属这种地热类型。

3. 深大断裂型

热流值高、地温高、地温梯度大，矿井岩温高，可能有热水涌出。以山东沭沂矿区为代表，抚顺矿也属这种地热类型。

4. 地下水活动强烈型

地温低、地温梯度小于 2℃/100m，在千米以内矿井一般无热害。开滦、京西、峰峰、鹤壁、焦作、淄博等矿区均属这种地热类型。

5. 深循环热水型

特点是出现局部热异常，一般面积不大，呈脉状水或裂隙脉状水，局部会有 35～50℃的高温热水涌出。例如广西合山里兰煤矿。

6. 硫化物氧化型

造成局部热异常，有时温度极高。例如铜官山铜矿、潭山硫铁矿等。

一个矿区可能同时兼有几种类型的特征，如深大断裂型就不能排除有深循环热水在井下涌出的可能，基底抬高型和基底沉陷型中也可能存在热水自流盆地。

（三）矿井地热预测图件

对有热害和可能有热害的矿井，需编制一系列地温图件，进行地温预测。地温图件种类繁多，有钻孔测温曲线图、地温剖面图、煤层底板等温线图、水平切面等温线图、等深面等温线图，地温梯度等值线图及其它有关图件。对煤矿来说最主要的预测成果用煤层底板等温线图来表示。

煤层底板等温线图（图 6—79）是以煤层底板等高线图为底图，加注煤层测温点的校正温度，进行对比、连接，绘出等温线，等温线可以反映该煤层地温分布状况和变化规律。

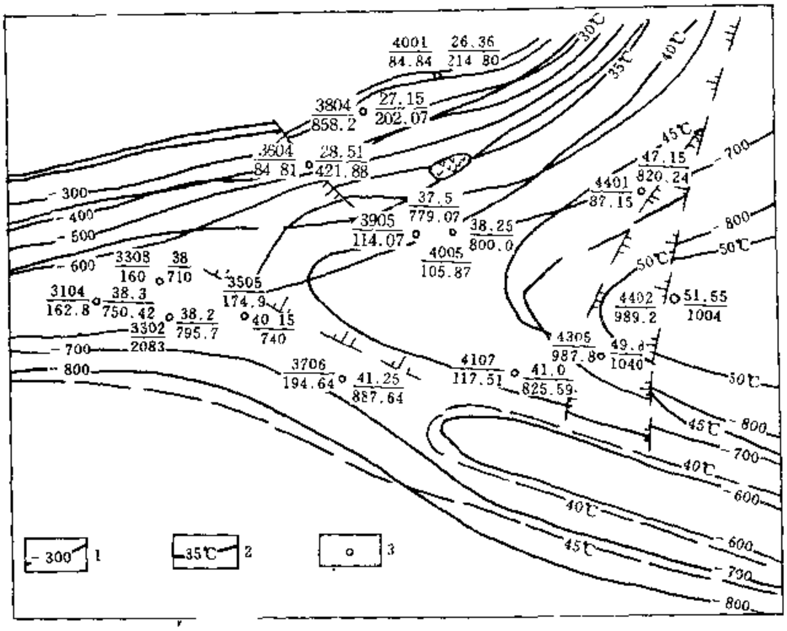


图6-79 平顶山某矿17煤层底板等温线图

1—煤层底板等高线；2—等温线；3—测温孔（左侧分子为孔号，分母为孔口标高；右侧分子为温度值，分母为深度）

二、矿山压力

（一）矿山压力及其成因

地下的煤层和岩层，在未采动之前，处于应力平衡状态，采掘工程使其应力重新分布，在采掘空间周围岩体内形成一种促使围岩向已采掘空间运动的力，这种力就称为矿山压力，简称矿压，也称地压。

矿山压力来源于上覆岩层的重力作用和地质构造的残余应力。上覆岩层的重力作用取决于岩石的组成和厚度。如果地壳浅部岩石的平均密度为2.5t/m³，则自地表向下每深1m，巷道承受的压力就增加25Pa，在垂深100m处，其静压力达0.1MPa。地质构造是地质应力作用的结果，其残余应力主要表现为水平压应力。大量实测资料表明，在地质构造较复杂的地区或断层、褶皱、节理发育部位，构造残余应力对矿压的影响明显增大。

（二）影响矿山压力的地质因素

1、煤、岩层的物理力学性质

煤、岩层的力学性质是影响矿压活动最直接的因素。对煤层顶底板、含水层、坚脆砂岩层、松软泥岩层，要逐层分析它们沿走向和倾向的变化，受构造破坏的情况，在垂直方向上要系统研究各煤、岩层的层序及组合情况，统计顶底板的裂隙特征、含水层组的结构、有矿山压力潜在危险的层组的岩石力学性质指标，以及它们和煤层之间的间距。最后在反映工程地质特征的采掘工程平面图上圈出有矿山压力潜在危险的区域，在剖面图和柱状图上标出有矿山压力潜在危险的层段，并附有关危险性鉴定指标。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 地质构造

矿山压力的形成及其显现特征均与地质构造密切相关。断裂交叉点附近、帚状构造收敛部位、断层的两端、平面上断层转弯部位、雁行式断层首尾相接部位、同一条断层倾向转折点附近、断层两侧差异运动较剧烈的部位、褶曲轴部和翼部的交界附近及逆冲断层或逆掩断层的上盘、两次构造叠加的部位等均是构造应力集中甚至是高度集中地段，也是矿山压力显现的地段，应作为重点研究对象。

3. 水文地质条件

矿井水的浸润渗透改变了岩石的力学性质，降低了岩石强度，从而引起围岩的变形和破坏。吸水性强的岩石，容易软化、液化或产生膨胀作用，使井巷围岩失稳，采场顶板松散，底板泥化。特别是在采动影响下，原有岩体的水文地质结构被破坏，引起地下水运动状态的改变，使巷道和工作面局部的应力集中，发生地下水压力的冲溃现象。应观测地下水的水位、水压、水理性质，研究含水层分布、与煤层的间距、隔水层性质及其间组合关系等，特别要注意出现与矿山压力伴生的突水现象。

4. 瓦斯

煤（岩）与瓦斯突出是冲击地压的一种表现形式。煤（岩）与瓦斯突出与煤层埋藏深度、煤层厚度、煤层结构、煤质变化、煤层顶底板岩性、构造和地下水活动等有关。

第七章　矿井水文地质与防治水

矿井突水是危害煤矿建设生产的主要因素之一。由于水文地质条件的复杂性，造成有些地区煤层不能开采；有些矿井由于水大不仅大大增加了原煤成本，同时也威胁着煤矿的安全生产。为保证煤矿安全生产，改善井下劳动条件，同时也为了合理利用地下水资源，有必要了解地下水的基础知识和矿井水的防治方法。

第一节　地下水的基本知识

一、自然界中水的循环

自然界中的水在太阳辐射热和重力的作用下不断地循环着。水在太阳的照射下，从海洋、河、湖表面，岩石表面及植物叶面上不断蒸发，变成水汽上升到大气圈中，在高空中凝结并形成各种不同形式的降水（雨、雪、雹等）而降落到地面上。降落下来的水一部分就地蒸发，一部分通过地表和地下径流的形式回归到河流、湖泊、海洋之中，而后再度从其表面蒸发。

水的循环可分为大循环和小循环两种（图 7—1）。

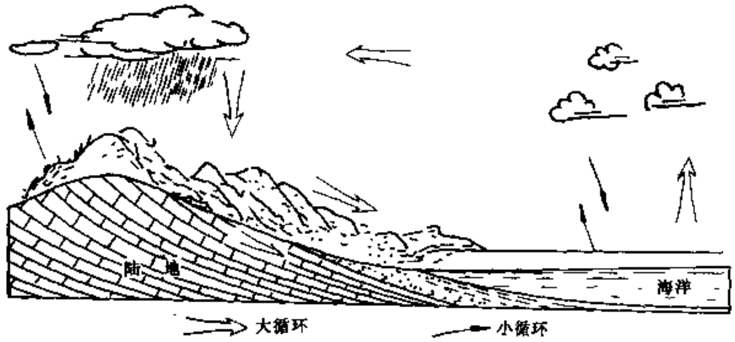


图 7—1　自然界水的循环图

大循环或称外循环，它是指在全球范围内水分从海洋表面蒸发，上升的水汽随气流运移到陆地上空，凝结成雨点降落到陆地表面，又以地表或地下径流的形式，最终流归海洋中，再度受到蒸发。

小循环又称内循环，它是指水从海洋表面蒸发，又降落到海洋表面；或者水从陆地上的湖泊表面、河流表面、地表、植物叶面蒸发，又在当地降落。

海洋表面的蒸发，当然是构成大陆上降水的主要来源，但陆地上河流、湖表面、地表及植物叶面的蒸发，同样是大陆范围内大气降水的来源。后者对距海远的干旱、半干旱地

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

区尤其有重大意义。因此，一个地区降水量的多少，既决定于大循环的频率和数量，又决定于小循环的频率和数量。所以，在干旱和半干旱地区修运河、水库，大面积植树造林，进行灌溉等，人为地加强小循环，也可以有效地改变当地的自然面貌。

二、地下水的概念

地下水是指埋藏在地表以下，储存在岩石空隙中的水。它主要以气态水、吸着水、薄膜水、毛细水和重力水等几种形式存在于岩石空隙中。

气态水　即水蒸气，它可以从空气中进入或由土壤和岩石中的液态水蒸发形成。岩石空隙中的气态水是不能被利用的，但在一定条件下气态水能凝结成液态水，这对土壤水分的重新分配、地下水的来源都有很大意义。

吸着水　进入岩石空隙中的气态水，当它与岩石颗粒表面接触时，由于岩石颗粒表面往往带有电荷，而水分子是偶极体，因此在静电引力作用下，水分子被牢固地吸附在岩石颗粒表面上，形成一层极薄的水膜，称为吸着水。由于这种水与岩石颗粒表面的结合力非常强，所以它又称为强结合水。

吸着水因受强大的静电引力作用，使它与一般液态水的性质有很大差别，如其密度、粘滞性很大，不受重力作用影响，不能传递静水压力等，也不能被植物根吸收，只有当加热到 105～110℃时，转化为气态水后逸出。

薄膜水　包围在吸着水外层的水膜称薄膜水。它也是由于岩石颗粒表面与水分子之间静电引力作用形成的。因为吸着力是随岩石颗粒表面距离的增大而减弱。所以，薄膜水受静电引力作用远远小于吸着水，故其又称为弱结合水。

薄膜水与吸着水相同，不受重力作用影响，不能传递静水压力，但密度与普通水一样，有较大的粘滞性和较弱的溶解盐类的性能。薄膜水可以由薄膜厚处向薄处发生流动，直到水膜厚度相等为止。薄膜水的移动是由于外层吸附力的减弱，而水分子之间的张力作用相对增大所引起的。

无论是吸着水还是薄膜水，在岩石中的数量都是微不足道的，因此，对矿井生产无影响，研究它们的实际意义不大。

毛细水　岩石中细小的孔隙和裂隙犹如我们熟悉的毛细管一样，它能使水沿着这些空隙上升到一定的高度，这类产生毛细现象的小空隙称为毛细空隙，储存在其中的水称为毛细水。毛细水与普通水性质一样，有普通水的密度和溶解盐类的性能，能传递静水压力，能被植物根所吸收等。毛细水在毛细力和重力作用的共同支配下，其运动沿着毛细空隙的垂直方向进行。

重力水　岩石空隙中仅受重力作用而运动的水，称为重力水。如井中取出的水、岩石中流出的泉水等都属重力水。重力水是我们研究的主要对象。

上述各种形式的水，在地壳中分布是有一定规律的。如开始挖井时，见到的土似乎很干燥，其实里面含有气态水、吸着水和薄膜水；继续下挖，土色变暗、潮湿度增大，但无滴水出现，井中仍无水，这一带属毛细水带；当再往下挖时，井壁渗水出现，并逐渐汇集成一个稳定的地下水面，这便是重力水。通常将地下水面以上范围称为饱气带，地下水面以下，则称为饱水带（图 7—2）。

三、含水层与隔水层

岩石能含水的基本前提是岩石具有空隙。岩石（包括坚硬的和松散的）内部并不是致

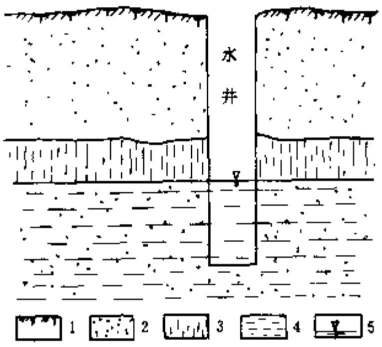


图 7－2　各种形式的水在地壳中的分布图

1－地表；2－饱气带（气态水、吸着水、薄膜水）；3－毛细水；4－饱水带（重力水）；5－地下水面

密的，有许多相互连通的孔隙、裂隙和洞穴，故地下水可在岩石中通过，岩石能被水透过的这种性能，称为岩石的透水性。能透水的岩层叫透水层。透水性最好的岩石是喀斯特发育的石灰岩和白云岩，以及空隙大的砾岩和砂岩。而有些岩石（如泥岩、页岩），虽有很多的空隙，但因它们太小或彼此间很少连通，地下水很难在其中流动，这种透水性能差，对地下水的运动、渗透起着阻滞或阻隔作用的岩层，称为隔水层或不透水层。透水层和不透水层在自然界是相对的，当某种岩层较其顶底板岩层的透水性能都好时，则其本身为透水层，而其顶底板岩层则起着隔水作用成为水隔水层。自然界中也有能透水而不含水的情况，能透水的岩层处于地下水位以上部分就是如此。所以，所谓含水层是指能透水且含有地下水的岩层。

含水层的形成必须同时具备三个方面的条件。即岩层具有连通的空隙、隔水地质条件和足够的补给水源。

四、地下水的分类

自然界有各种各样的地下水，有的埋藏很深、有的埋藏很浅；有的水量大，有的水量小；各种地下水在形成、分布、运动、水质、水量等方面都有所不同。人们对地下水提出了许多分类方法，其中对煤矿生产有直接意义的有以下两种：

（一）按地下水的埋藏条件分类

1．上层滞水

一般认为，上层滞水是指埋藏在离地表不深的饱气带中局部隔水层上的重力水（图 7－3）。

上层滞水一般分布范围小，储水量不丰富。由于其埋藏浅，受气候条件影响大，雨季获得补给，补给区与其分布区一致，旱季水量明显减少，甚至干涸。一般只有当饱气带厚度较大时，上层滞水才易出现；当其下部隔水层范围较广时，上层滞水存在的时间较长。

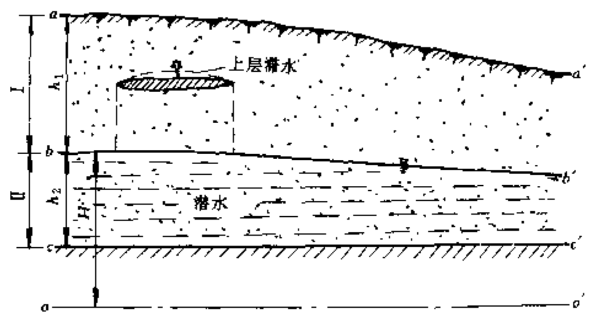


图 7－3　上层滞水和潜水示意图

Ⅰ—饱气带；Ⅱ—饱水带

aa'—地面；bb'—潜水面；cc'—隔水层面；oo'—基准面；

h_1—潜水埋藏深度；h_2—含水层厚度；H—潜水位

上层滞水由于分布范围有限，水量少，且其季节性明显，仅能作小型或临时性供水水源，一般对煤矿生产几乎没有影响。

2．潜水

潜水是指埋藏在地表以下第一个稳定隔水层以上，且具有自由水面的重力水。潜水的自由水面，称为潜水面；地表至潜水面的垂距，称为潜水埋藏深度；潜水面至其底板隔水

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

层顶面间的距离，称为潜水含水层厚度；潜水面上任一点的标高，称为潜水位（图 7—3）。

由于潜水无隔水顶板，地表水及大气降水可以通过饱气带直接渗入补给潜水，故潜水分布区和补给区经常是一致的，且其水量、水位等动态变化具有明显的季节性。

由于潜水具有自由水面（即潜水面），而潜水面上任意一点均只受大气压作用，所以潜水是不承受静水压力的无压水（因局部隔水层存在产生局部地段承压现象例外），只能在重力作用下，由高水位向低水位不断运动。

潜水在重力作用下发生流动，其结果使潜水面产生一定的坡度，形成了不同形状的潜水面。潜水面形状与地形关系密切，随地形起伏而变化，地形高的地方，潜水位亦高，地面坡度愈大，潜水面坡度也愈大，两者基本一致，但潜水面坡度总小于当地地面坡度。如果潜水面是倾斜的，潜水就发生流动，称为潜水流；当潜水面呈水平时，潜水处于静止状态，称为潜水湖。

潜水面的形状可用等水位线图来表示，等水位线图即潜水面的等高线图，它是根据潜水面上各点标高编制而成的等值线图，作图方法与地形等高线图类似。由于潜水是随时间变化的，所以在编制等水位线图时，必须利用同一时期内所观测的水位资料。为了反映不同时期潜水面形状的变化，在有条件时，最好能绘制出不同时期的潜水面等高线图。根据潜水面等高线图可解决一些实际问题，如确定潜水的流向——垂直等水位线由高水位流向低水位；确定潜水的水力坡度——任意两条等水位线的水位差与相应等水位线间流长的平距之比（即潜水面坡度＝两等水位线的水位差/两等水位线间的平距）；确定地表水与潜水的相互补给关系（图 7—4）；确定潜水埋藏深度（将地形等高线和等水位线绘于同一图纸或两图叠置，各点标高与相应点的水位之差，即为该点潜水埋藏深度）；确定引水和排水工程的位置等。

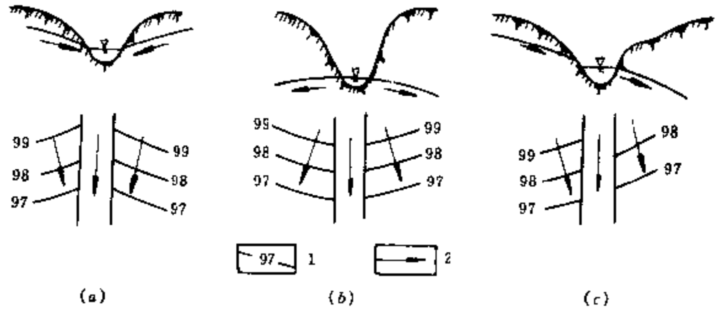


图 7—4　地表水（河流）与潜水间的关系示意图
(a) 潜水补给河水；(b) 河水补给潜水；(c) 左岸潜水补给河水，右岸河水补给潜水；
1—等水位线；2—水流方向

潜水已被广泛利用，一般的水井多打在潜水含水层中，这是因为潜水距地表较近的缘故，但容易受到人为污染。对于煤矿来说，潜水是矿坑充水的重要水源之一，因此必须重视。

3. 承压水

充满于上、下两稳定隔水层之间的含水层中的重力水，称为承压水。承压水由于有隔

水顶板存在，故其补给区和分布区不一致，与水文因素季节变化的关系不甚明显，动态稳定，不易受污染；又因受其上、下隔水层的限制，故有一定的承压水头，其运动方式不是在重力作用下的自由流动，而是以传递静水压力的方式进行水的交替，就象自来水管中的水受供水水塔静水压力进行运动；故当地形条件适宜时，经钻孔揭露承压含水层后，承压水会喷出地表，因此承压水又称自流水。最适宜承压水形成的构造型式有向斜和单斜。

储存承压水的向斜构造，在水文地质学中通常称为承压水盆地或自流盆地。自流盆地按其水文地质特征可分为补给区、承压区及排泄区三部分（图 7—5）。在含水层出露较高、且直接接受大气降水或地表水补给的地段称为补给区；补给区的地下水，具有潜水性质。含水层出露较低，且以泉的形式出露地表，或补给潜水和地表水的地段，称为排泄区；在补给区和排泄区之间，含水层上部具有隔水层且承受静水压力的地段，称为承压区；当钻孔打穿隔水顶板时，承压水便涌入孔内，水沿钻孔上升，当水位上升到一定高度且稳定后，此时的水面标高称为承压水的测压水位或静止水位。从静止水位到隔水顶板底面的垂直距离称为承压水头；上、下两隔水层之间的垂直距离，称为含水层厚度。

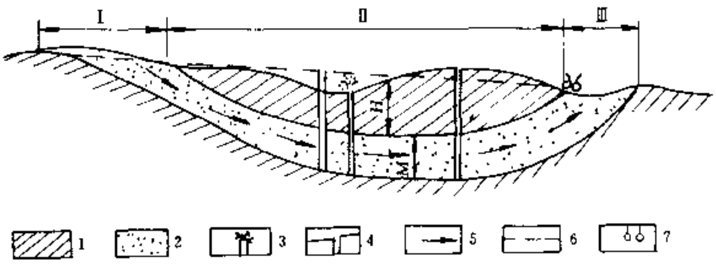


图 7—5　自流盆地构造示意图

Ⅰ—补给区；Ⅱ—承压区；Ⅲ—排泄区；H—承压水头；M—含水层厚度；
1—隔水层；2—含水层；3—喷水钻孔；4—不自喷钻孔；5—地下水流向；
6—测压水位；7—泉

在向斜构造的自流盆地中，往往有几个含水层存在，每个含水层分别有自己的补给区、承压区和排泄区。当地表形态与构造形态一致时，称为正地形自流盆地。在正地形自流盆地中，下部含水层的测压水位一般较上部含水层高，含水层之间若有水力联系，往往是下部含水层补给上部含水层。地表形态与构造形态相反的自流盆地，称负地形自流盆地。负地形自流盆地中，下部含水层的测压水位较上部含水层的测压水位低，若含水层之间发生水力联系，往往是上部含水层的水补给下部含水层。

储存承压水的单斜构造，称承压水斜地或自流斜地。自流斜地通常是因含水层岩相变化或尖灭，以及含水层被断裂错开或被各种侵入体阻挡而形成。由断裂构造形成的承压水斜地（图 7—6），当断裂带导水时，则各含水层将通过断层发生水力联系或通过断层以泉水的形式排泄于地表，构成承压水的排泄区，此时承压区介于补给区和排泄区之间，情况与自流盆地相同（图 7—6a）；若断裂带隔水而不导水时，则含水层的补给区接受地表水或大气降水的补给，当补给量超过含水层可能容纳的水量时，在含水层暴露地带的低洼处呈泉水形式出露于地表，形成排泄区，此时补给区和排泄区位于承压区的同一侧（图 7—6b）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

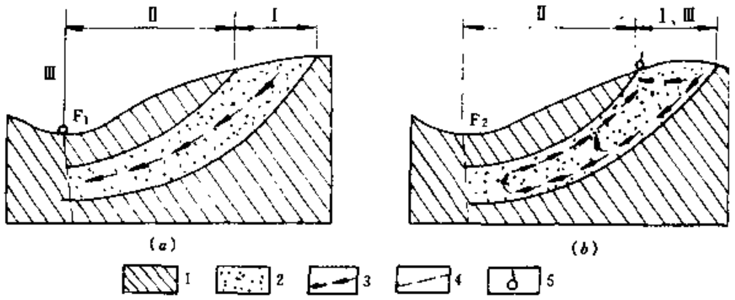


图 7—6　断裂构造形成的自流斜地

a—断层导水自流斜地；b—断层不导水自流斜地；

Ⅰ—补给区；Ⅱ—承压区；Ⅲ—排泄区；

1—隔水层；2—含水层；3—地下水流向；4—断层（F_1 为导水断层，F_2 为不导水断层）；5—泉

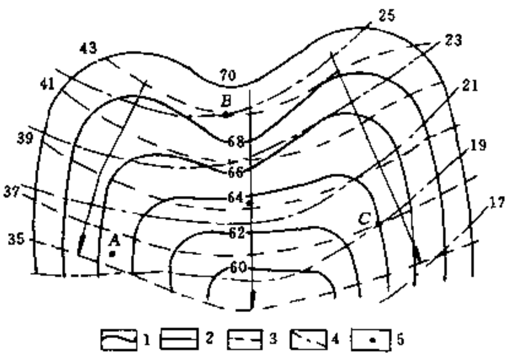


图 7—7　承压水等压线图

1—地形等高线；2—承压水流向；3—等水压线；

4—含水层顶板等高线；5—钻孔

当地下水未充满两个隔水层之间时，称为无压层间水，其特征除具有自由水面而不承压外，基本上与承压水相同。

承压水含水层的水面特征，可用等水压线图来描述，承压水等水压线图即承压水测压水位等高线图（图 7—7）。其编制方法与潜水等水位线图相似。根据等水压线图可以测定承压水的流向、水力坡度及每一点的承压水位，判定各承压含水层之间以及与潜水的相互补给关系，为矿井疏干降低水头提供数据。

自流水虽是很好的供水水源，但是对矿井开采来说，地下水过大，就会使大量地下水流入井下，甚至造成淹井事故，必须引起高度重视。

（二）按含水层空隙性质分类：

1. 孔隙水

储存于疏松岩层孔隙中的水，称为孔隙水，孔隙水的存在条件和特征取决于岩石孔隙的发育情况。一般情况下，岩石颗粒大而均匀，则含水层孔隙大、透水性好、水量大、运动快、水质好；反之，则含水层孔隙小、透水性差、水量小、运动慢、水质也差。

孔隙水由于埋藏条件不同，可形成上层滞水、潜水和承压水。孔隙水对采矿的影响主要取决于孔隙含水层厚度、岩层颗粒大小及其与煤层的相互关系。一般来说，岩石颗粒大且均匀，地下水运动快、水量大，建井时需要加大排水能力才能穿过；而颗粒细且均匀的砂层，容易形成流砂，如果事先没有准备，大量流砂涌入井内，会使整个井筒报废（常用冻结法穿过流砂层）。在急倾斜煤层条件下，在煤层浅部开采时，岩层垮落向上抽冒，常常波及到富水性很强的砾石含水层，这时将有大量孔隙水和松散沉积物涌入井下，造成突水事故。

2. 裂隙水

埋藏于基岩裂隙中的地下水称为裂隙水。裂隙的性质和发育程度决定了裂隙水的存在、富水性及其运动条件。按成因，岩石的裂隙可分为风化裂隙、成岩裂隙和构造裂隙三种类型，相应的裂隙水也分为三种。

1）风化裂隙水

是指赋存在风化裂隙中的水。风化裂隙是由岩石风化作用形成的，其特点是分布于基岩表面，无一定方向，延伸短，常构成彼此连通的裂隙体系。风化裂隙水大部分为潜水，具有统一的水面，多出露于基岩的表层，其下新鲜的基岩为风化裂隙含水层的下限。此种水补给来源主要为大气降水，因此，在气候潮湿多雨地区和地形平缓地区，风化裂隙水较丰富，可作饮用水。

2）成岩裂隙水

是指赋存在成岩裂隙中的地下水。成岩裂隙是在岩石形成过程中产生的，一般常见于火成岩中，这类裂隙在水平或垂直方向上，都较均匀，也有固定层位，彼此互相连通。喷出岩中的成岩裂隙常呈柱状分布，当其出露地表接受大气降水补给时形成层状潜水，与风化裂隙中潜水相似。侵入岩中的成岩裂隙，在其与围岩接触的地方特别发育，常形成富水带。成岩裂隙中的地下水水量有时可能很大，在疏干和利用方面均不可忽视。

3）构造裂隙水

是指赋存在构造裂隙中的地下水。由于构造裂隙比较复杂，故而构造裂隙水的变化也较大，常分为层状裂隙水和脉状裂隙水两种。

(1) 层状裂隙水　埋藏于沉积岩、变质岩的节理及片理中，此种裂隙水可以形成互相连通的含水层，当具有统一的水面时，可视为潜水含水层；若其上部为新的沉积层覆盖时，则可形成层状裂隙承压水。

(2) 脉状裂隙水　常存在于断裂破碎带中，呈承压水性质。在地形低洼处，常沿断裂带以泉的形式排泄，其透水性取决于断层性质和所切岩层的透水性，一般压性断裂透水性差，张性断裂透水性强。

当断裂破碎带规模大、透水性强、补给水源充足时，就可能形成涌水量大而稳定的突水带，给煤矿生产安全造成威胁。

3. 喀斯特水

喀斯特是发育在可溶性岩石地区的一系列独特的地质作用和现象的总称，又常称为“岩溶”。这种地质作用包括地下水的溶蚀作用和冲蚀作用。产生的地质现象，就是由这两种作用所形成的各种溶隙、溶洞和溶蚀地形。埋藏于溶洞溶隙中的重力水，称为喀斯特水，或称岩溶水，有时也称溶洞水。

喀斯特发育必须具备的条件是：有透水的可溶性岩层（灰岩、石膏、盐岩及白云岩）存在，运动于可溶性岩层中的水具有侵蚀性，且水不停地流动。岩石的溶解度越大，透水性越好，水的侵蚀性越大，水的交替越强烈，则喀斯特也越发育。

在喀斯特化岩石中的地下水，可以是潜水，也可以是承压水。一般在裸露的石灰岩分布区的喀斯特水，主要是潜水；当喀斯特化岩层为其它岩层所覆盖时，喀斯特潜水可转变成为喀斯特承压水。

喀斯特的发育特点决定了喀斯特水的特征。其主要特点是：水量大，运动快，在垂直

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

和水平方向上都具有分布不均匀的特征；喀斯特溶洞溶隙较其它岩石中孔隙、裂隙要大得多，降水易渗入，几乎全部渗入地下；喀斯特溶洞不但迅速接受降水渗入，而且喀斯特水在溶洞或暗河中流动很快，年水位差有时可达数十米；喀斯特水埋藏很深，在高峻的喀斯特山区常缺少地下水露头，甚至地表也没有水，造成缺水现象；大量喀斯特水都以地下径流的形式流向低处，在谷地或与非喀斯特化岩层接触处，以成群的泉水出露地表。

喀斯特水的水量大、水质好，可作大型供水水源，但喀斯特水对煤矿生产安全构成严重威胁，尤其喀斯特化岩层厚度巨大时，如华北的奥陶纪灰岩水、华南的长兴组及茅口组灰岩水多是造成矿井重大水患的水源。

五、地下水的物理性质和化学成分

地下水是自然界中水循环的一部分。在其循环过程中，携带和溶解了自然界中的各种离子、分子、胶体物质、悬浮物、气体和微生物等，因此地下水是一种成分很复杂的天然溶液。

（一）地下水的物理性质

地下水的物理性质包括：温度、颜色、透明度、气味、觉味、密度、导电性和放射性等。前五种可通过人的感觉器官或仪器测得，后三种必须用仪器测定。这里简单介绍地下水的前几种物理性质。

1. 温度

地下水温度变化极大，有0℃以下至100℃以上的地下水。其温度的变化与自然地理条件、地质条件、水的埋藏深度有关，通常地下水温度变化与当地气温状态相适应。在变温带内的地下水温度呈现出周期性日变化和周期性年变化，但水温变化比气温变化幅度小，且落后于气温变化；常温带的地下水温度接近于当地年平均气温；增温带的地下水随深度的增加而逐渐升高，其变化规律决定于一个地区的地温梯度。不同地区地下水温度差异很大，如火山区的间歇泉水的温度可达到100℃以上，而多年冻土带的地下水温度可达－50℃。

2. 颜色

地下水的颜色取决于水中化学成分及其悬浮物。地下水一般是无色的，当其含有某种化学成分或有悬浮杂质时，地下水则具有各种不同的颜色。如含 FeO 的水呈浅蓝色；含 Fe_2O_3 的水呈褐红色；含腐植质的水呈暗黄褐色；含悬浮杂质的水其颜色则取决于悬浮物的本色。地下水颜色的深浅，则决定于这些化学成分及悬浮物含量的多少。

3. 透明度

地下水的透明度取决于水中固体物质与胶体颗粒悬浮物的含量。按其透明度的好坏，地下水可分为透明的、半透明的、微透明的和不透明的。透明度可用内径3cm、长50～100cm平底带放水嘴的量筒来测定。将存水量筒放在黑线十字图形板或专用铅字上，慢慢放水观察，能清楚见到铅字或图形为止。

透　明：60cm 水柱可明显见图形或铅字；

半透明：＞30cm 水柱可见图形或铅字；

微透明：＜30cm 水柱可见图形或铅字；

不透明：很小水柱仍不能见图形或铅字。

4. 气味

洁净的地下水是无气味的。地下水是否具有气味，主要取决于水中所含气体成分和有

机物质。如含有 H_2S 时，水便具有臭鸡蛋味；若有有机物存在，水便具有鱼腥臭味等等。测定气味时，将水加温至 40℃时辨别最显著。

5. 觉味

通常地下水是无味的，其味道的产生与水中含有某些盐分或气体成分有关。含有 NaCl 的水具有咸味；含 Na_2SO_4 的水具有涩味；含 $MgSO_4$ 的水具有苦味；含有机质的水具有甜味；含 CO_2 气体的水具有清凉可口之感等等。

6. 密度

地下水的密度取决于水中所溶解盐分的多少，一般情况下，地下水的密度与化学纯水相同。当水中溶解较多的盐分时，密度可达 1.2～1.3。

（二）地下水的化学成分

地下水是一种良好的溶剂，它不断地与地壳中的岩石发生作用，根据研究证明，地下水中所发现的化学元素有 70 余种。通常，它们呈离子状态、化合物分子状态及游离气体状态存在。地下水中常见的离子、化合物及气体成分有：

离子状态　阳离子有 H^+、Na^+、K^+、NH_4^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、Fe^{3+}、Mn^{2+} 等等；

阴离子有 OH^-、Cl^-、SO_4^{2-}、NO_2^-、NO_3^-、HCO_3^-、CO_3^{2-}、SiO_3^{2-}、PO_4^{3-} 等等；

化合物状态　Fe_2O_3、Al_2O_3 及 H_2SiO_4 等；

气体状态　N_2、O_2、CO_2、CH_4、H_2S 及镭射气 Ra 等。

其中 Cl^-、SO_4^{2-}、HCO_3^-、Na^+、K^+、Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 等七种离子在地下水中分布广泛，因而往往以此来表征地下水的化学类型。如若地下水中主要阴离子成分为 HCO_3^-，阳离子为 Ca^{2+}，那么水的化学类型就称为重碳酸钙型水；若水中主要阴离子为 SO_4^{2-}，阳离子为 Na^+，其化学类型为硫酸钠型水。

由于所含化学成分的不同，地下水表现了不同的化学性质。反映地下水化学性质的常用指标有以下几个：

1. 氢离子浓度（pH 值）

水的酸碱度通常用所谓“氢离子浓度”即 pH 值来表示。根据 pH 值，可将地下水分为五类（表 7－1）。

表 7－1　地下水按 pH 值分类

酸碱性	强酸性	弱酸性	中性	弱碱性	强碱性
pH 值	<5	5～7	7	7～9	>9

2. 硬度

地下水的硬度大小取决于水中 Ca^{2+}、Mg^{2+} 的含量。水的硬度又分为总硬度、暂时硬度和永久硬度。总硬度是指水中所含 Ca^{2+}、Mg^{2+} 的总量，它包括暂时硬度和永久硬度。暂时硬度是指水沸腾后，由 HCO_3^- 与 Ca^{2+}、Mg^{2+} 结合生成碳酸盐沉淀出来的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量；永久硬度是指水沸腾后，水中残留的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量。

通常表示硬度的是德国度（H°）和毫克当量每升（meq/L）。1H°相当于一升水中含有

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

10mg 的 CaO 或 7.2mg 的 MgO，即一升水中含有 7.2mg 的 Ca^{2+} 或 4.3mg 的 Mg^{2+}。1meq/L 等于 20.4mg/L 的 Ca^{2+} 或 12.6mg/L 的 Mg^{2+}。1meq/L＝2.8H°。

根据水的总硬度可将地下水分五类（表 7－2）。

表 7－2　地下水按硬度分类

水的类型	硬度	
	meq/L	H°
极软水	＜1.5	＜4.2
软　水	1.5～3.0	4.2～8.4
微硬水	3.0～6.0	8.4～16.8
硬　水	6.0～9.0	16.8～25.2
极硬水	＞9.0	＞25.2

3．总矿化度

水的总矿化度是指单位体积水中所含有的离子、分子和各种化合物的总量，用 g/L 来表示。总矿化度表示水的矿化程度，即水中所溶解盐分的多少。矿化度直接反映地下水的循环条件，矿化度高，说明地下水的循环条件差；矿化度低，说明地下水的循环条件好。根据总矿化度，可将地下水分为五类（表 7－3）。

表 7－3　地下水按矿化度分类

名　称	干涸残余物（g/L）	名　称	干涸残余物（g/L）
淡　水	＜1	盐水（高矿化水）	10～50
微咸水（弱矿化水）	1～3	卤　水	＞50
咸　水（中等矿化水）	3～10		

4．侵蚀性

地下水的侵蚀性取决于水中侵蚀性 CO_2 的含量。当含有侵蚀性 CO_2 的地下水与混凝土接触时，就可能溶解其中的 $CaCO_3$，使混凝土的结构受到破坏，即

$$CaCO_3+H_2O+CO_2 \rightleftharpoons Ca^{2+}+2HCO_3^-$$

由该式可知，当水中含有一定数量的 HCO_3^- 时，就必须有一定数量的游离 CO_2 与之相平衡，这部分平衡 HCO_3^- 所需要的 CO_2 称为平衡 CO_2。当水中游离 CO_2 的总量超过平衡于 HCO_3^- 所需要的 CO_2 时，这种水与碳酸盐接触就会起溶解作用，消耗于溶解碳酸盐部分的 CO_2 称为侵蚀性 CO_2。因此，若水中游离的 CO_2 含量超过平衡的需要时，水就具有一定的侵蚀性。

六、泉

泉是地下水的天然露头，是地下水的一种重要排泄方式。在山区和丘陵的沟谷中及山坡脚的含水层出露最低处，泉的分布最为普遍；而在平原区则很难找到。按泉的形成方式可分为下降泉和上升泉。

（一）下降泉

由潜水含水层形成的泉称下降泉。根据下降泉水出露的原因又分为侵蚀下降泉、接触下降泉、溢流下降泉。

1. 侵蚀下降泉

当河谷、冲沟切割到潜水含水层时，潜水即出露成泉。因为这种泉的出露与侵蚀作用有关，故称其为侵蚀下降泉（图 7－8*a*、*b*）。

2. 接触下降泉

当地形被切割到含水层下面的隔水层，潜水被迫从两者的接触处涌出地表时，称为接触下降泉（图 7－8*c*）。

3. 溢流下降泉

当岩石透水性变弱或当隔水底板隆起时，潜水因流动受阻而涌溢于地表时，称为溢流下降泉（图 7－8*d*、*e*、*f*），洪积扇溢出带的泉便属此类。

（二）上升泉

由承压水含水层形成的泉称为上升泉。根据上升泉出露的原因又分为侵蚀上升泉和断裂上升泉。

1. 侵蚀上升泉

当河流、冲沟切穿承压含水层的隔水顶板（含水层出露于地表）时，承压水便会喷涌成泉，这种泉称为侵蚀上升泉（图 7－8*g*、*h*）。

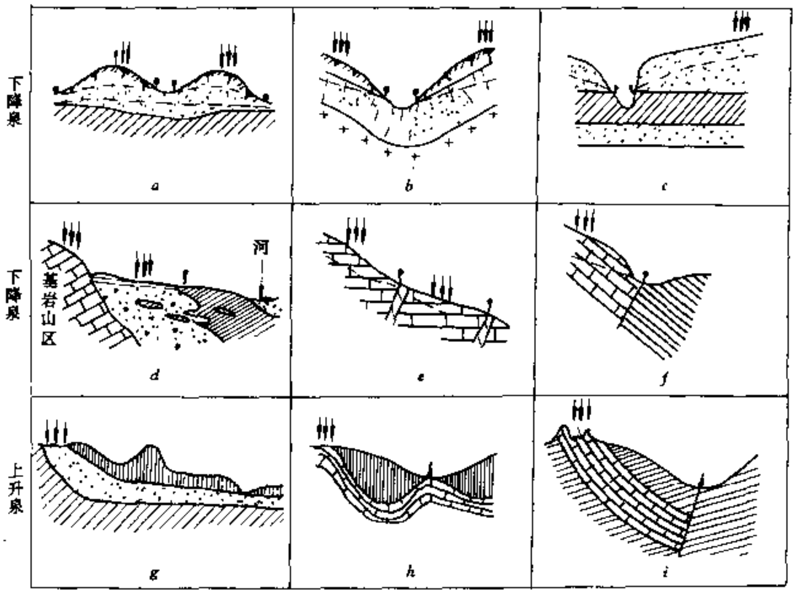


图 7－8　泉的形成条件示意图

a、*b*—侵蚀下降泉；*c*—接触下降泉；*d*、*e*、*f*—溢流下降泉；*g*、*h*—侵蚀上升泉；*i*—断裂上升泉

2. 断裂上升泉

当导水断层或张性裂隙通过承压含水层时，地下水便沿断层或裂隙上升，在地面标高

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

低于承压水测压水位处便会出现泉，这种泉称为断裂上升泉（图7—8i）。

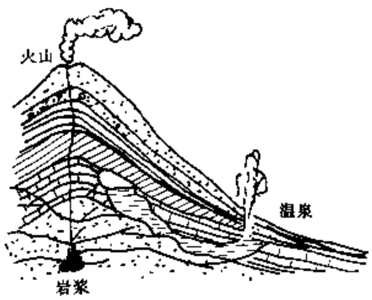


图7—9　温泉形成示意图

温泉一般为上升泉。温泉的热源不外乎两个方面：地热增温或岩浆活动。

由于在增温带中愈往深处温度越高，因此，当承压含水层埋藏很深，并有很深的断裂时，地下水向深部循环，受到地热增温的影响，然后沿断裂带上升到地表，就可形成温泉。我国许多温泉多属此类，如重庆的北温泉、南温泉等。

另一类温泉与岩浆活动有关。当岩浆喷出地表就形成火山爆发，没有喷出的，则在地下逐渐冷凝成各种各样的侵入岩。地表面的水源不断的渗到地下，在地下深处受到岩浆热的烘烤，以热水或蒸汽的形式喷出地表（图7—9）。这种泉水一般温度较高，有时还形成间歇喷泉。我国西藏地区就有不少这类高温喷泉、间歇喷泉、沸泉等。世界上凡是火山特别多的国家，如冰岛、意大利和日本，这种温泉也就多。

第二节　矿井充水条件

在矿井建设和生产过程中，各种类型水源进入采掘空间的过程称为矿井充水；进入到工作面及井巷内的水，称为矿井水。矿井充水的形式有渗入、滴入、淋入、流入、涌入和溃入等等，当涌入或溃入井巷的水量大，来势猛时，称为突水。

虽然影响矿井充水的因素很多，但形成矿井充水的主要因素，也就是通常所说的矿井充水条件，主要是指矿井水的来源和其渗透通道。在生产过程中，正确判断矿井水的来源及其充水通道，对于计算涌水量、预测矿井突水的可能性及制定矿井防治水措施等都具有重要意义。

一、矿井水的来源

矿井充水的水源有四种，即矿体及围岩空隙中的地下水、地表水、老窑积水和大气降水，前三种可称为矿井充水的直接水源，而大气降水往往是间接水源或者是控制因素，即矿井水可归结为一个总根源——大气降水。当然，大气降水渗入有时也可以成为直接水源。

（一）矿体及围岩空隙中的地下水

有些矿床矿体本身存在有较大的空隙，其内充满了地下水，这些水在矿体开采时，会直接流入坑道，成为矿坑充水水源。有些矿床本身并不含水，但邻近的围岩往往具有大小不等、性质不同的空隙，其中常含有地下水，当有通道与采掘空间连通时，也会成为井下充水的水源。根据含水岩石空隙的性质，这些地下水可以是孔隙水，裂隙水或喀斯特水。

1. 孔隙水水源

孔隙水存在于松散岩层的孔隙中，当开采松散沉积层中的矿产或开采接近松散沉积层的矿体时，常遇到这种水源。如我国开滦煤矿部分矿井，因受冲积层水的补给，曾发生过水、砂突入矿井的事故。

2. 裂隙水水源

往往是在采掘工作面揭露含裂隙水的围岩时，这种地下水涌入工作面，造成矿坑充水。裂隙水水源的一般特点是：水量较小，但水压较大。当裂隙水与其它水源无水力联系时，在多数情况下，涌水量会逐渐减少，甚至干涸；如果裂隙水和其它水源有联系时，涌水量便会增加，甚至造成突水事故。

3. 喀斯特水水源

这种水源在我国华北和华南的许多矿区较为常见。如华北石炭二叠纪地层厚度达数百米，假整合于喀斯特比较发育的奥陶系石灰岩强含水层之上。不少矿区发生的重大突水事故，其直接或间接水源绝大多数皆为石灰岩含水层中的喀斯特水。喀斯特水源突水的一般特点是：水压高、水量大、来势猛、涌水量稳定，不易疏干，危害性大。其突水规律受喀斯特发育程度及规律的控制。

总之，地下水往往是矿井充水最直接、最常见的主要水源。涌水量的大小及其变化，则取决于围岩的富水性和补给条件。地下水流入矿井通常包括静储量与动储量两部分。开采初期或水源补给不充沛的情况下，往往是以静储量为主，随着生产的发展及长期排水和采掘范围不断扩大，静储量逐渐被消耗，动储量的比例就相对增大。

（二）地表水源

地表水体包括江河、湖海、池沼、水库等。当开采位于这些地表水体影响范围内的煤层或其它矿体时，在适当条件下，这些水便会涌入坑道成为矿坑充水水源。

地表水能否进入井下，由一系列的自然因素和人为因素决定，主要取决于巷道距水体的远近、水体与巷道之间的地层及构造条件和所采用的开采方法。一般来说，矿体距地表水体愈近影响愈大，充水愈严重，矿井涌水量也愈大。若矿坑充水水源为常年存在的地表水时，则水体越大，矿坑涌水量越大，且稳定，淹井时不易恢复；而季节性地表水体为充水水源时，对矿坑涌水量的影响程度则随季节性变化。另外，地表水体所处地层的透水性强弱，直接控制矿坑涌水量的大小，地层透水性好，则矿坑涌水量大；反之则小。当有断层带沟通时，则易发生灾害性的突水。同样，不适当的开采方法，也会造成人为的裂隙，从面增加沟通地表水渗入井下的通道，使矿坑涌水量增加。

由于地表水对采矿的威胁很大，所以在勘探和开采过程中，必须查清地表水体的大小、距离巷道和采场的远近（垂直、水平），以及洪水位淹没的范围等，事先采取有效的措施，以避免地表水的危害。

（三）大气降水的渗入

大气降水的渗入是很多矿井充水的经常补给水源之一，特别是开采地形低洼且埋藏较浅的煤层时，大气降水往往是矿井充水的主要来源；当开采高于河谷处地表（特别是分水岭）下的煤层时，大气降水往往是唯一的水源。大气降水渗入量的大小，与各地区的气候、地形、岩石性质、地质构造等因素有关。当大气降水成为矿井充水水源时，有以下规律：

1、矿井充水的程度与地区降水量的大小、降水性质和强度及延续时间有关系。降水量大和长时间降水对渗入有利，因此矿井涌水量也大。如湖南渣渡矿区利民矿井，雨季井下涌水量为枯水季节的6～8倍。一般来说，我国南方矿区受降水的影响要大于北方的矿区。

2. 矿井水量变化随气候具有明显的季节性，但涌水量出现高峰的时间往往滞后，浅部约1～2天，随深度的增加滞后时间更长。

3. 大气降水渗入量随开采深度的增加而减少，即在同一矿井不同的开采深度，降水对

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

矿井涌水量的影响程度具有很大差别。

（四）老窑及采空区积水

古代和近期的采空区及废弃巷道，由于长期停止排水而使地下水聚集。当采掘工作面接近它们时，其内积水便会成为矿井充水的水源。这种水源涌水的特点是：水中含有大量的硫酸根离子，pH 值在 3 左右，有的甚至仅为 1，具有强烈腐蚀性，对井下设备破坏性很大；这种水成为突水水源时，来势猛，易造成严重事故；当与其它水源无联系时，易于疏干，若与其它水源有联系时，则可造成量大而稳定的涌水，危害性极大。

上述几种水源是矿井水的主要来源，而在某一具体涌水事例中，常常是由某种水源起主导作用，但也可能是多种水源的混合。

二、矿井充水通道的分析

水源的存在，只是可能构成矿井充水的一个方面，而矿井充水与否，还取决于另一个重要条件，即充水通道（包括通道的类型及具体位置）。根据矿井充水的通道类型，可把通道分为孔隙、裂隙、溶隙及人工通道等四种。

（一）岩层的孔隙

这种通道通常存在于疏松未胶结成岩的岩石中，其透水性能取决于孔隙的大小和连通情况。岩石的孔隙大、连通程度好，当巷道穿过时，其涌水量就大；否则涌水量就小。

单纯的孔隙水，只有在煤层围岩是大颗粒的松散岩层并有固定的水源补给，或围岩本身是饱水的流砂层时，才能造成突水或发生流砂冲溃事故。

（二）岩层的裂隙

岩层的风化裂隙、成岩裂隙、构造裂隙等都能构成矿井充水的通路。其中，风化裂隙及成岩裂隙所含水量一般不大，而对矿井最具有威胁的是构造裂隙（断裂），它包括各种节理、断层和巨大断裂破碎带等，是矿井充水和矿井透水的主要通道。

构造裂隙对矿井充水的影响，一方面表现在其本身的富水性；另一方面又往往是各种水源进入采、掘工作面的天然途径。所以，当采掘工作面和它们相遇或接近时，与它有关的水源则会通过它们涌入井下造成突水。

节理，尤其是张节理是矿井充水的有利通道。在一般情况下，脆性岩石较柔性岩石的节理更为发育，且大多为张节理，其裂隙宽度较大；柔性岩石中的裂隙大多是细小闭合的，其透水性较差，但当多组裂隙互相沟通时，也可形成矿井充水的良好通道。

断层是构造裂隙中最易造成灾害性事故的进水通道。根据断裂带的水文地质特征，可分为隔水断层和透水断层两类。隔水断层主要是压应力及部分扭应力形成的扭性断裂，后经充填胶结而成。由于致密，不仅断裂带本身不含水，而且还可切断某些含水层，使含水层在断层两侧具有不同的水文地质特征。一般来说，这类断层在保持其隔水性能的条件下，对分区疏干可起有利的作用。透水断层，多数是张扭性断层，少数是压扭性断层。当它们与其它水源有联系造成矿井突水时，其水量大且稳定，不易恢复；当它们与其它水源无联系时，其内水储量有限。透水断层突水时，开始水量大，以后逐渐减少，甚至干涸。

（三）岩层的溶隙

岩层的溶隙是指可溶性的碳酸盐类岩石被溶蚀而形成的空隙。它可以从细小的溶孔直到巨大的溶洞，彼此可以连通，也可以形成单独的管道或似格架状喀斯特体，其中可赋存大量的水或勾通其它水源，当巷道接近或揭露它们时，易造成灾害性的冲溃。

可溶性岩石在我国分布广泛，因而使喀斯特溶隙成为矿井充水的主要通道。在喀斯特发育地区分析矿井充水通道时，应首先研究喀斯特的发育规律。

1. 喀斯特主要分布在质纯的可溶性岩石地段

可溶性岩石的性质是溶隙发育的内在因素。一般情况下，质纯的厚层灰岩中，喀斯特发育强烈；含杂质多的薄层可溶性岩层，则相对减弱。

2. 溶隙溶洞主要分布在构造裂隙发育的部位

溶隙溶洞是在可溶性岩石原有的裂隙基础上发育起来的，因此可溶岩中各类裂隙发育的部位就是溶隙溶洞发育部位：在断裂集中或交叉地段，溶隙溶洞发育；褶皱剧烈弯曲部位，如背斜轴部裂隙发育，溶洞也发育；较大的向斜轴部存在有较大断裂时，喀斯特较发育；在褶皱轴线弯曲部位及倾没部位，由于张性断裂发育，喀斯特也较发育；可溶性岩石与非可溶性岩石接触部位，当受到构造应力作用时，由于岩石性质的差异，易于产生层间滑动和裂隙，促使地下水在此部位运动，又因水的溶蚀作用使可溶岩的溶洞极为发育。

3. 水循环交替及地壳运动引起喀斯特通道复杂化

当具有溶解性的水与可溶岩接触时，由于水的循环交替，使溶蚀作用不断进行，因此水循环的快慢，对喀斯特的发育有很大的影响。喀斯特地区喀斯特水的运动和溶隙溶洞的发育、分布具有规律性。

（1）垂直循环带　指岩溶地区潜水面以上的岩体部分。由于地表水在垂直方向上沿可溶性岩石裂隙下渗补给潜水，形成垂直发育且互不相通的溶洞，这就是直立喀斯特多分布在含水层的浅部及顶部并随深度增加而逐渐减弱的原因。

（2）季节变动带　指喀斯特潜水随季节变化而升降的范围。在此范围内，枯水季节地下水以垂直运动为主，洪水期以水平运动为主，所以，此带内垂直、水平溶洞都有。

（3）水平循环带　指喀斯特潜水最低水位以下到当地侵蚀基准面以上的范围。此带内饱和的喀斯特水主要以水平方向无压地排向河流，因此本带内主要是水平溶洞，暗河较发育。

（4）深部循环带　位于当地侵蚀基准面以下。由于地下水受地质构造的影响而流向更低的河谷，为区域性的排水循环，该带内的地下水运动迟缓，喀斯特不发育，仅有溶孔存在，越往深处溶孔逐渐减少。

溶隙溶洞的发育，除受上述各种规律控制外，还受地壳运动的控制。当地壳上升时，河流下切，即侵蚀基准面下降，把早期形成的溶洞抬高，变成干涸的溶洞。地下水为适应新的侵蚀基准面，其交替循环又会形成新的溶洞带，而使喀斯特地区具有成层发育溶隙溶洞的特征，即溶洞的多层性。如湖南湘中地区的壶天灰岩中，就可见到2～3层溶洞。当这些溶洞又因地壳下降处于地下深部时，则成为隐伏的喀斯特，这些隐伏喀斯特便是矿井充水的复杂通道，给矿井开采带来极大威胁。如湖南煤炭坝矿区煤层底板为茅口灰岩，其喀斯特承压水为该矿涌水的主要来源，其中一矿井在－22m 水平仅开拓了 1 080m 长的巷道，就遇突水点 210 余个，总涌水量最大达 3 261.7m^3/h；另一矿井在－130m 水平大巷中遇一突水点，其涌水量达 9 420m^3/h，造成淹井。

（四）人工通道

1. 勘探钻孔造成的充水通道

按规定，勘探时施工的各种钻孔，在工作结束后都要按要求进行封闭，如果封孔质量

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

未达到标准要求，钻孔就成了矿层与其顶底板含水层或地表水之间的通道。在开采过程中，遇到或接近它们时，就会引起涌水或造成淹井事故。如东风煤矿因部分勘探钻孔封孔质量不好，将煤层底板强含水层——奥陶灰岩的水引入矿坑，使井下涌水量骤然增加，虽然采取了超前钻孔放水，开凿疏水巷道等措施，但全矿总涌水量仍达 855m^3/h，井下排水 5a 多，水仍疏不干，直到对个别钻孔启封处理后，井下涌水量才明显减小，当前后启封处理 18 个封孔质量不好的勘探钻孔后，全矿总涌水量减少了 84%左右。

2. 采矿活动造成的断裂

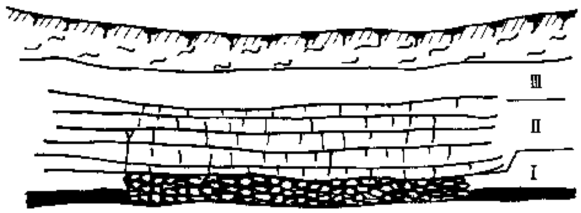


图 7—10　顶板岩层移动分带图

Ⅰ—岩层垮落带；Ⅱ—断裂带；Ⅲ—整体沉降弯曲带

根据对岩层移动规律的研究，当煤层开采后，采空区上方的岩层即发生移动，形成三个不同的破坏带（图 7—10）。

第Ⅰ带——岩层垮落带　煤层采出后，顶板岩石的平衡状态遭到破坏而垮落，形成崩落带。其垮落高度取决于顶板岩石的碎胀系数及煤层倾角和采厚。在缓倾斜煤层条件下，垮落高度可用下式计算：

$$h=\frac{m}{(k-1)\cos\alpha} \tag{7—1}$$

式中　h——垮落带的高度（采空区底界面起算），m；

k——顶板岩石的碎胀系数，其大小取决于岩性，一般采用 1.3；

m——煤层采厚，m；

α——煤层倾角。

第Ⅱ带——断裂带：位于第Ⅰ带的上方。由于顶板垮落、岩层下沉而产生许多张性裂隙，断裂带的高度为垮落带高度的 2～3 倍。

第Ⅲ带——整体沉降弯曲带：位于第Ⅱ带的上方，此带特点是岩层缓慢沉降弯曲，但一般不产生裂隙，即使有也是封闭、互相不连通的，通常起隔水作用。

若地表水体或含水层处于第Ⅰ带或第Ⅱ带内，将对矿井构成严重威胁。

此外，由于矿山压力或地下的静压力，或两者联合作用等的结果，也可促使坑道底板形成裂隙，这种裂隙可沟通底板下部含水层、含水断层带及溶洞水，使矿井涌水量增加或造成突水事故。

三、影响矿井涌水量大小的因素

矿井充水的水源及充水通道都是控制和影响矿井充水水量大小的因素。此外尚有其它一些因素影响矿井涌水量的大小。

（一）覆盖层的透水性及煤层围岩的出露条件

地表水和大气降水能否渗入地下，以及渗入地下数量的多少，与煤层上覆岩层的透水性能及围岩的出露条件有着直接关系。覆盖岩层的透水性能好，补给水量和井下涌水量就大。生产实践证明：矿区内若分布有一定厚度（大于 5m）且稳定的弱透水或隔水的岩层，就可有效地阻挡水的下渗；如果煤层围岩是透水的，其在地表出露的面积愈大，则接受降

水和地表水下渗量就愈大，矿井涌水量也就愈大。在地形平缓的情况下，厚度大的缓倾斜透水层最易得到补给，因此流入井巷的水主要为动储量，其涌水将长期稳定在某个数值上，且不易防治；若缺乏补给水源或煤层上覆岩层透水性能弱，则流入井巷的水主要为静储量，这时的涌水特征是水量由大到小，较易防治。

（二）地形条件的影响

地形直接控制了含水层的出露部位和出露程度，控制着地表水和大气降水的汇集。当矿井的开采深度高于当地侵蚀基准面时，其涌水量通常较小，且易于排除；若矿井开采深度低于当地侵蚀基准面时，一般水文地质条件比较复杂，其涌水量也较大。

（三）地质构造的影响

在煤层分布范围内，地质构造直接影响着矿井涌水量的大小。

1. 断裂面的力学性质对矿井涌水量的影响

(1) 压性断裂面　断裂面紧密，透水性较差，相对起隔水作用，所以压性断裂面通常对矿井涌水量影响较小。

(2) 张性断裂面　张裂程度大，充填物内孔隙多而大，且断裂面两侧常伴生有次一级断裂面，所以为地下水的运移、赋存创造了良好的条件，因此张性断裂面对矿井涌水量的影响较大。

(3) 扭性断裂面　扭性断裂面延展较远，发育深度大，低序次断裂亦较发育，因此扭裂面及其两侧常具良好的导水性，对矿井涌水量影响较大。

2. 不同构造部位对矿井充水的影响

(1) 对一条断层而言，其尖灭点及其附近不是以位移消失应力，而是以破裂、变形来消失应力，故在断层端点部位及其两侧的岩层裂隙特别发育，是突水较多的部位。

(2) 主干断裂与分支断裂的交叉点应力比较集中，各种断裂面均很发育，岩石破裂，充填和胶结程度较差，尤其石灰岩中，喀斯特特别发育。故在断层交叉处附近，其透水性强，导水性能好。

(3) 断层密度大的地段，不仅应力集中，且多次受应力作用，因而使岩石破碎，裂隙发育，给地下水的赋存和运移创造了良好条件。如焦作矿区的一些矿井，其突水次数与断层密度成正比关系（表 7—4）。

表 7—4　断层密度与突水次数关系表

矿井名称	演马	王封	米村	焦西	韩王	李封
断层密度（条/km^2）	0.34	0.38	1.5	3.0	3.1	3.3
突水次数	1	2	4	6	6	9

(4) 在断层两断盘相对运动过程中，由于受边界条件和重力的作用，一般上盘低序次断裂及裂隙相应较下盘发育，故在断层上盘易发生突水。如焦作矿区有些矿井的突水点绝大部分是发生在断裂面上盘部位（图 7—11）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

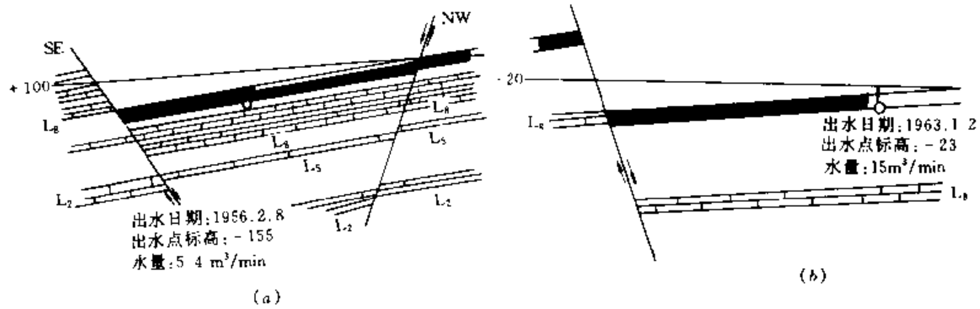


图 7—11 断层上盘与突水点的关系图

第三节 矿井水文地质观测及其水害的防治

一、矿井水文地质观测

矿井水文地质观测是矿井水文地质工作的主要项目，一般包括两部分内容：地面水文地质观测和井下水文地质观测。

(一) 地面水文地质观测

地面水文地质观测的内容包括：气象观测、地表水观测、地下水观测及采矿后形成的垮落带和导水裂隙带高度的观测等四个方面。

1. 气象观测

主要是观测降水量，并搜集矿区附近气象台站的观测资料或设立矿区（井）气象站。观测内容除降水量外，还应包括蒸发量、气温、相对湿度等，观测时间和要求应与气象站一致。

气象观测资料，应整理成气象要素变化图（图 7—12），以说明矿区范围内气象要素变化情况。此外，还应当把气象要素变化同矿井建设和生产的实践结合起来分析研究，如编制降水量与矿井涌水量变化关系曲线图，以帮助分析矿井涌水条件。

2. 地表水观测

地表水主要是指江河、溪流、大水沟、湖泊、水库、大塌陷坑积水等。对分布于矿区（井）范围内的地表水，都应该对其进行定期观测。

对通过矿区（井）的江河、溪流、大水沟，一般在其出入矿区（井）或采区、含水层露头区、地表塌陷区及支流汇入的上下端设立观测站，定期测定其流量（雨季最大流量）、水位（雨季最高洪水位），及通过构造断裂带和上述地段的流失量，河流泛滥时洪水淹没区的范围及时间。

对分布于矿区（井）范围内的湖泊、水库、大塌陷坑积水区所建立的观测站，其观测内容主要是积水范围、水深、水量及水位标高等。观测所获资料，应整理成曲线图（如图 7—13），以便研究其流量（水量）、水位的变化规律，找出其变化原因，并预测地表水对矿井涌水的影响。此外，还应将河水漏失地段、洪水淹没范围等标在相应的图纸上。

3. 地下水观测

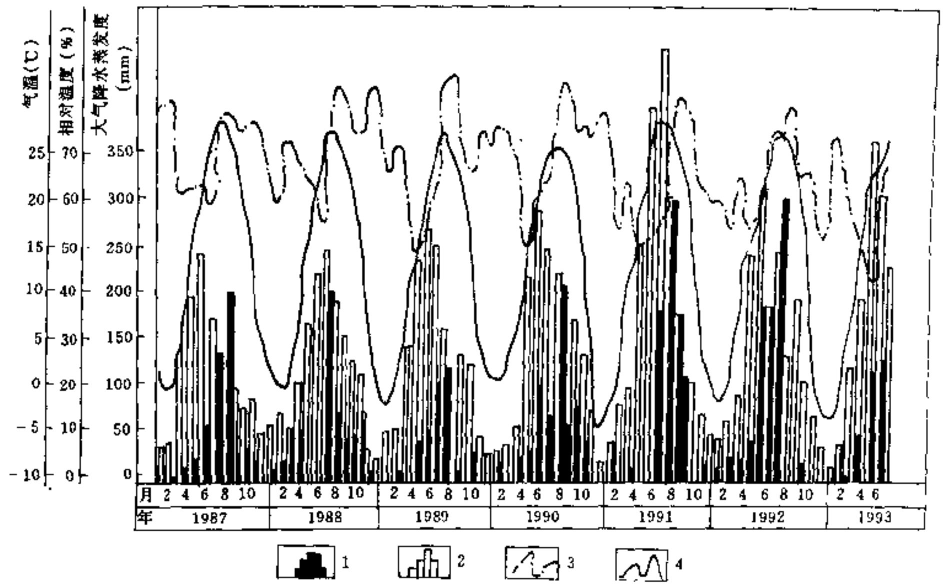


图 7—12 气象要素变化图

1—降水量；2—蒸发度；3—相对湿度；4—气温

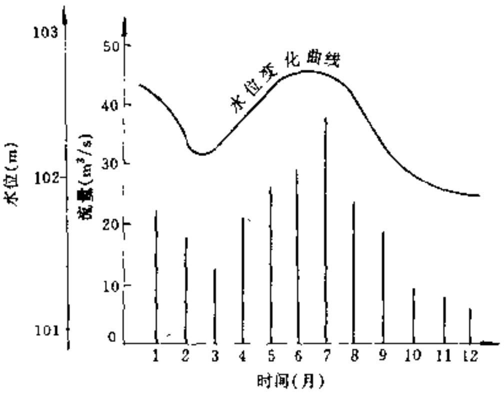


图 7—13 河水流量、水位变化曲线图

地下水观测是研究地下水动态的重要手段，在矿区（井）建设和生产过程中，应选择一些具有代表性的泉、井、钻孔、被淹井巷以及勘探巷道等，作为观测点，与已有的观测点组成观测系统（观测线或观测网）。

进行地下水动态观测的目的在于通过日常观测，了解一个矿区（井）水文地质条件随时间的延续所发生的变化规律。为此，对地下水的观测资料，应及时进行整理和分析。对每一个观测点的资料，应编制出水位变化曲线图、流量变化曲线图等（图 7—14、图 7—15），以便掌握该点地下水动态。对整个观测系统的资料，应定期整理，编制成综合图件，如等水位线图（等水压线图）、水化学剖面图等，以便掌握整个矿区（井）范围内某一时期的水文地质条件变化情况，分析矿井的涌水条件及其变化规律。

4. 导水断裂带发育高度的观测

主要是观测煤层采空后，其上覆岩层失去支撑而发生变形、开裂、移动以至垮落所形成的能使水流向采空区的垮落带和断裂带的高度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

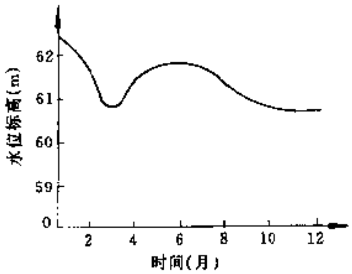


图 7－14　钻孔水位历时变化曲线

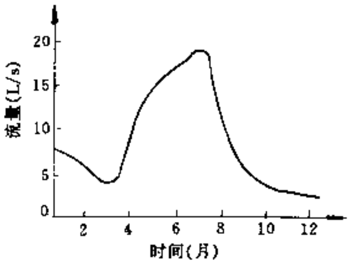


图 7－15　泉水流量历时变化曲线

（二）井下水文地质观测

井下水文地质观测工作，应与矿井巷道掘进及回采工作同时进行。其主要观测内容如下：

1. 巷道充水性观测

(1) 含水层观测　当巷道通过含水层时，应详细地记录描述其厚度、岩性、裂隙或岩溶发育情况、揭露点的标高、涌水量、水压及水温等。必要时，取水样进行水质化验。

(2) 岩层裂隙发育调查及观测　对巷道穿过的含水层，应进行裂隙发育情况调查，记述裂隙产状要素、长度、宽度、成因类型、张开和充填程度及充填物的成分、地下水活动痕迹及裂隙的消失情况等，并选择有代表性的地段、测量其裂隙率。

裂隙率的测定方法一般是在选定的块段内，用小钢尺逐条丈量裂隙的长度、宽度，然后按第四章第三节公式（4－4）计算。

(3) 断裂构造观测　当巷道揭露断层时，首先应确定断层的性质，同时测量断层的产状要素、落差、破碎带宽度、充填物质及其透水情况等，并作详细记录。

(4) 出水点观测　随着矿井巷道掘进或回采工作面的推进，如果发现有出水现象，应及时到现场进行观测并分析出水原因及水源。观测的内容包括出水时间、地点、出水层位、岩性、厚度、出水形式、水量、水压、标高、出水点围岩及巷道的破坏变形情况等；分析出水原因及水源，必要时，应采水样进行化学分析。上述内容必须作出详细的记录，并编制出水点记录卡片（表 7－5）和绘制出水点素描图或剖面图（图 7－16）及出水点水量变化曲线图（图 7－17）。

表 7－5　出水点记录卡片

出水时间	出水地点	出水层位	出水形式	出水口标高 m	水压 kg/cm²	出水量 m³/min	水质分析	出水原因	水源分析	对生产影响	备注

(5) 出水征兆的观测　随着井下巷道的开拓及回采工作面的推进，要经常观测工作面是否潮湿、滴水、淋水以及顶、底板和支柱的变形情况，如底鼓、顶板陷落、片帮、支柱

折断、岩石膨胀、巷道断面缩小等。这些现象都可能是出水的征兆，在观测时，要作出详细的记录。

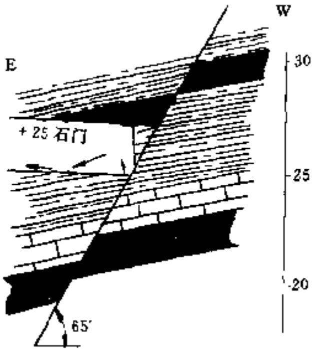


图 7-16 某矿+25石门突水地点剖面图

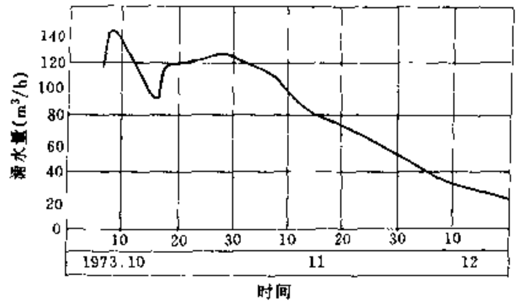


图 7-17 某矿+25石门突水点水量变化曲线

2. 矿井涌水量观测

1）矿井涌水量观测要求

观测站一般多布置在各巷道排水沟的出口处、主要巷道排水沟流入水仓处、采区石门排水沟的出口处、井下出水点附近。此外对一些临时出水点，可选择有代表性地点，设置临时观测站。

矿井涌水量一般每旬观测一次，水文地质条件复杂的矿井，每旬应观测2～3次，雨季观测次数还应适当增加。当矿井有数个水平，则应分水平测定涌水量。

2）矿井涌水量的观测方法。

（1）容积法　用一定容积的量水桶，放在出水点附近，然后将出水点流出的水导入桶内，用秒表记下流满桶所需要的时间，其涌水量则为：

$$Q=\frac{V}{t} \tag{7-2}$$

式中　Q——涌水量，m^3/h 或 m^3/min；

V——量水桶的容积，m^3 或 l；

t——流满水桶所需的时间，h、min 或 s。

在井筒开凿时，常利用迎头的水窝来测涌水量，其方法是：用水泵将井底水窝内的水位降低一部分，然后停泵，测量水头升高到一定位置所需的时间，按下式计算涌水量：

$$Q=\frac{F\cdot H}{t} \tag{7-3}$$

式中　F——水窝断面积，m^2；

H——水位上升高度，m。

容积法测定涌水量一般比较准确，但有局限性，当涌水量过大时，这种方法不宜使用。

（2）浮标法　这种方法是在规则的水沟上下游选定两个断面，并分别测定这两个断面的过水面积，取其平均值 F，丈量出两断面之间的距离 L，然后用一个轻的浮标（如木片、

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

树皮、乒乓球等)，从水沟上游断面投入水中，记下浮标从上游断面到达下游断面所需要的时间 t，按下式便可算出其涌水量 Q：

$$Q=\frac{F\cdot L}{t} \tag{7-4}$$

这种方法简单易行，特别是水量大时更适用，但精度不太高，一般还需乘上一个经验系数。经验系数的确定，需考虑水沟断面的粗糙程度以及巷道风流方向及大小等，一般取0.85。

(3) 堰测法　这种方法的实质，就是使排水沟的水通过一固定形状的堰口，量测堰口的水头高度，就可以算出流量。堰口的形状不同，计算的公式也不一样，常用的有三种堰形。

A. 三角堰　如图7—18所示，三角堰适合于流量小于0.5m³/s的情况，计算公式为：

$$Q=0.014h^2\sqrt{h} \tag{7-5}$$

式中　Q——流量，L/s；

h——堰口水头高度，cm。

B. 梯形堰　如图7—19所示，计算公式为：

$$Q=0.0186Bh\sqrt{h} \tag{7-6}$$

式中　B——堰口底宽。

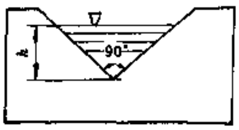


图7—18　三角堰

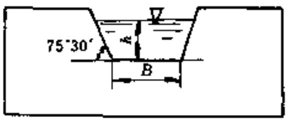


图7—19　梯形堰

C. 矩形堰　如图7—20所示。

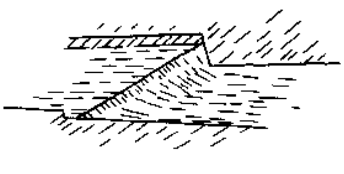
有缩流时（即堰口窄于水沟）计算公式为：

$$Q=0.018\,38\,(B-0.2h)\,h\sqrt{h} \tag{7-7}$$

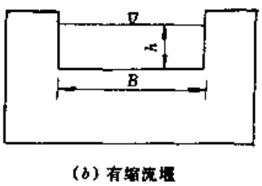
无缩流时（即堰口与水沟一样宽）计算公式为：

$$Q=0.018\,38Bh\sqrt{h} \tag{7-8}$$

使用堰测法时，必须注意堰口的上下游一定要形成水头差（跌水），如图7—21所示，否则，测量的结果是不准确的。



(a) 无缩流堰



(b) 有缩流堰

图7—20　矩形堰

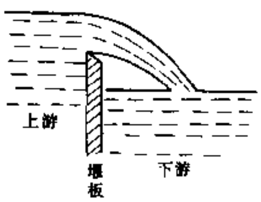


图7—21　堰口水头跌落示意图

（4）流速仪法　使用流速仪测定矿井涌水量，一般是在巷道水沟中选定一个断面，然后用流速仪测定水沟过水断面中预定测点的平均流速，从而确定该断面的流量。

（5）水仓水位观测法　如图 7—22 所示。此法是在水仓断面规则、水仓任何水平切面积 F 一定的情况下，根据水仓内水位上升值来计算涌水量的。由标尺读出水仓初始水位 H_1，经过 t 时间后，再由标尺读出水位 H_2，涌水量 Q 便可由下式计算：

$$Q=\frac{(H_2-H_1)\ F}{t} \qquad (7-9)$$

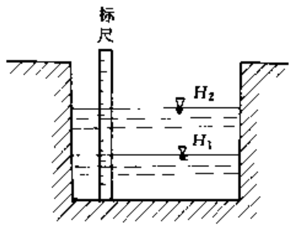


图 7—22　水仓内测水位示意图

（6）水泵有效功率法　是利用水泵铭牌中的排水量和它的实际效率来换算涌水量。

二、矿井水的综合治理

（一）地表防治水

地表防治水是指在地表修筑防排水工程，防止或减少大气降水和地表水渗入矿井。地表防治水主要有五种措施。

1. 合理选择井筒位置

在任何情况下，应保证井口及其它地面设施不致被地表水淹没，因此井口及其它建筑物基础的标高均应高于历年最高洪水位，当受地形限制时，应采取修筑防水堤坝或改变水流方向等补救措施。

2. 河流改道

若河流流入矿区附近或矿区内，并严重影响生产时，可在河流进入矿区的上游选择合适地点修筑水坝，将原河道截断，用人工河道将河水引出矿区范围以外。若地形不允许改道，而河道本身又很弯曲时，可在矿区或井田范围内将河道裁弯取直，以缩短河道流经矿区的长度，减少河流向井下渗透的水量。

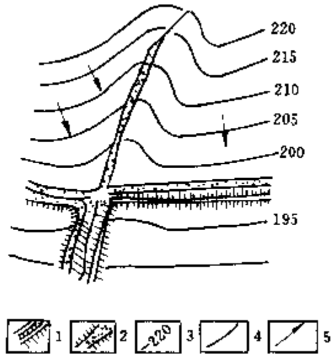


图 7—23　在井田上方修拦洪排洪沟
1—拦洪沟及堤防；2—铺底排洪沟及堤防；3—地形等高线；4—煤层露头；5—水流方向

3. 铺设人工河床

当流经矿区的河流、冲沟、渠道不能改道时，可用粘土、片石及水泥等材料在漏水地段铺设不透水的人工河床，或局部填塞裂隙，以制止或减少河水漏失。如涟邵矿区利民煤矿，通过对两条溪流局部地段人工铺底修理河床后，矿井涌水量较原来减少了 80%左右。

4. 修筑排（截）水沟

山区降水后，常以地表水或潜水的形式流入矿区，或沿地表塌陷裂隙渗入井下，导致矿井涌水量增大。在这种情况下，可在井田外缘或漏水区段的上游垂直水流方向修筑排水沟（图 7—23，图 7—24），将水排至影响范围以外。

5. 堵漏

对矿区地表的裂隙、洞穴及陷坑等漏水地带，用粘土堵塞、夯实，并稍高于地表（图 7—25），以防积水渗灌井下。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(二) 井下防治水

1. 探放水

探放水是防止水害发生的重要方法之一，尽管其并不能将所有的水害威胁都探明，如断层的迟到突水，但必须坚持“有疑必探，先探后掘”的原则。通常在下述情况下，需进行超前探水：

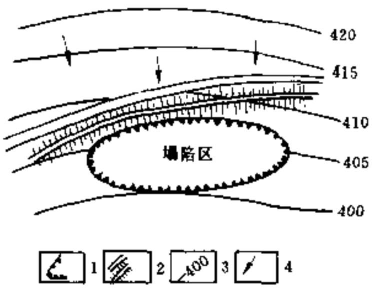


图 7—24 在塌陷区上方修排洪沟

1—塌陷区边界；2—排洪沟及堤防；3—地形等高线；4—水流方向

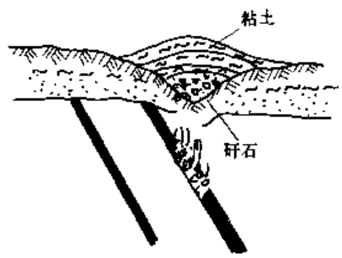


图 7—25 塌陷坑填塞方法

a. 巷道掘进接近小窑老空区；

b. 巷道接近含水断层；

c. 巷道接近或需要穿过强含水层；

d. 上层采空区有积水，在下层进行采掘工作，两层间垂直距离小于采厚的 40 倍或小于掘进巷道高度 10 倍时；

e. 采掘工作面接近各类防水煤柱时；

f. 采掘工作面有明显出水征兆时。

1) 小窑老空区积水的探放

(1) 探水起点　由于小窑老空区积水范围是通过调查得出来的，所以其积水的边界不是十分准确，如有条件最好用物探方法查明。根据一些矿区的经验，将调查和勘探获得的小窑老空区分布资料经过分析后，在煤层底板等高线图相应位置上按比例填绘小窑老空区范围及三条界线（图 7—26)。

积水边界线是指调查核定的老窑、小窑预定边界线，即其采空区范围，深部界线应根据其最深下山划定。探水线是根据积水范围的可靠程度、积水量、水头压力、煤层厚度及其强度大小沿积水边界线平行外推 60～150m 距离的一条线，当巷道到达此线就应开始探水。警戒线是沿探水线再平行外推 50～150m 的一条线，当巷道进入此线，就应警惕积水的威胁，注意迎头的变化；当发现有透水征兆时，就应提前探水。

(2) 小窑老空区积水量的估算　小窑老空积水可按下式进行估算：

$$W_{静}=\frac{K\cdot M\cdot F}{\cos\alpha} \tag{7-10}$$

式中 $W_{静}$——老空积水的静储量，m^3；

M——采厚，m；

F——小窑老空区平面积，m^2；

α——煤层倾角，度；

K——老空区充水系数 0.3～0.5。

（3）探、放水钻孔的布置 探水时从探水线向前方打钻探水，但一次打透积水的情况很少，绝大多数是探水与掘进相结合，即探水—掘进—探水循环进行，方能找到老窑积水区。因此，在考虑探水钻孔布置时，必须保证掘进巷道的前方留设一定宽度的保安煤柱。此外，老窑内的巷道极不规则，在探水掘进过程中，如果钻孔密度不够，古巷道有可能从两钻孔间通过而未探到（图7—27），这种情况很容易发生突水事故。为了防止突水事故的发生，探水钻孔一般布置成扇形或半扇形，上山巷道常布置成扇形，煤层平巷常布置成半扇形。巷道允许掘进距离（经探水后证明无水害威胁，可以安全掘进的长度）的终点处，探水孔间距最大不得超过3m（图7—28），超前距（允许掘进终点到中心眼终点间的距离）一般采用20m，帮距（中心眼与外斜眼终点的距离）一般应等于超前距，有时也可略小于超前距1～2m。超前距也可用下式进行估算，但最小不得小于8m。

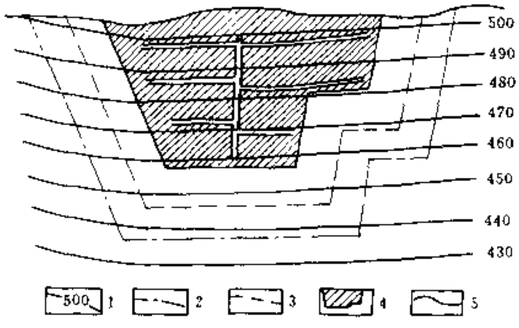


图7-26 小窑老空"三线"示意图

1—煤层底板等高线；2—警戒线；3—探水线；4—采空区及积水边界线；5—煤层露头线

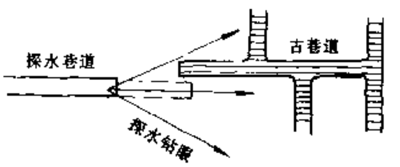


图7—27 古巷道从钻孔间漏过的情况

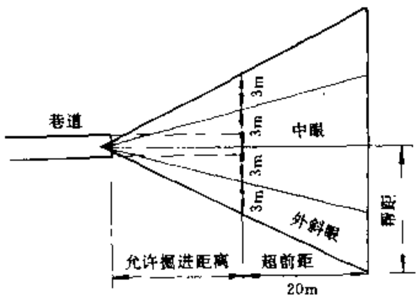


图7—28 探水眼的布置

$$a=0.5l\sqrt{\frac{3p}{k_p}} \tag{7—11}$$

式中 a——超前距，m；

l——巷道的跨度（宽或高取其大者），m；

p——水头压力，kg/cm^2；

k_p——煤柱的抗张强度，kg/cm^2。

2）断层水及其它可疑水源探放

探断层水、强含水层及其它可疑水源的方法与探老空区相同，但探水钻孔的孔数较探老空区水的要少。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

探断层水的钻孔往往与探断层构造孔结合起来，在探明断层的位置、产状要素、断层带宽度的同时，着重查明断层带的充水情况、与含水层的接触关系和水力连通情况、静水压力及涌水量大小，以达到一孔多用的目的。

断层水探明后，应根据水的来源、水压和水量采取不同措施。若断层水是来自强含水层，则要注浆封闭钻孔，按规定留设煤柱；已进入煤柱的巷道要加以充填或封闭。若断层含水性不强，可考虑放水疏干。

2. 煤矿酸性水的防治

煤层及煤系岩层中常会有黄铁矿及有机硫，这些硫化物氧化后形成硫酸，使矿井水呈酸性。酸性水对金属和混凝土有腐蚀作用，危害矿井生产。井下排除酸性水的几项措施如下：

（1）分区排除酸性水　矿井酸性水的涌出常具有区域性，因此可用单独排水系统，将酸性水集中一次排出。

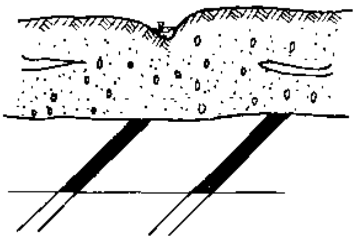


图 7—29　煤层露头直接为疏松含水层或地表水体所覆盖

（2）分级排水，降低水泵扬程　由于排水时，扬程越高，水压越大，则酸性水对水泵的磨损和腐蚀的速度就越快。若将单级排水改为多级排水，降低水泵扬程，可减少对水泵的腐蚀速度和磨损程度。

（3）冲淡酸性水　在非酸性水涌水量大，而酸性水涌水量小的矿井中，可将两者按比例引入同一水仓混合，使酸性水冲淡后排出。

（4）中和酸性水　即在酸性水中掺入生石灰 CaO 中和，以降低水的酸性。

（5）改善水泵、水管的耐酸性能。

3. 井下防水煤柱的留设

在受水害威胁的地段，预留一定宽度和高度的煤层不采，使工作而和水体保持一定距离，以防止地下水或其它水源溃入工作面，所留的煤层叫防水煤柱。

一般当有下列情况之一时，均应留设防水煤柱：

（1）煤层露头直接为疏松含水层所覆盖或位于地表水体之下（图 7—29）；

（2）因断层的影响使煤层和富含水层接触（图 7—30），或者煤层既和富含水层接触又被部分富含水层掩盖（图 7—31）；

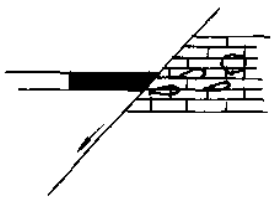


图 7－30　煤层和富含水层接触

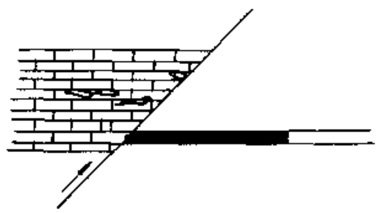


图 7—31　煤层和富含水层接触并局部被富含水层所掩盖

（3）因断层的影响使煤层底板和承压含水层接近，且当煤层采空后承压水有突破底板的危险（图 7—32）；

（4）煤层与充水断层接触（图 7—33）；

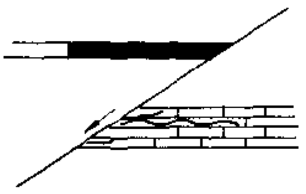


图 7—32　煤层底板和富含水层接近

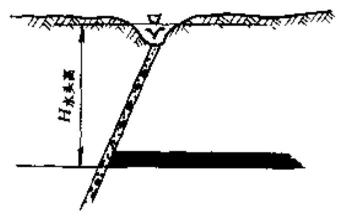


图 7—33　煤层和充水断层接触

（5）煤层与充水陷落柱接触；

（6）巷道或工作面接近被淹井巷和积水小窑老空区等。

确定防水煤柱尺寸是一个相当复杂的问题，至今还没有一个比较完善合理的办法，尚有待进一步研究。但在确定防水煤柱尺寸时应着重考虑含水层或其它水体的水量、水压、煤层的机械强度、厚度及其围岩的物理力学性质等因素。

4．井下截水建筑物的设置

为了使井下局部地区的涌水不致波及其它地区或为了堵截水源，需在适当地点建筑截水建筑物（防水闸），将开采区与水源隔离。防水闸分为防水闸门和防水墙两种。

（1）防水闸门　一般设置在可能发生突水需要堵截而平时仍需运输和行人的巷道内，如井底车场、井下水泵房和变电所的出入口及受水害威胁地段与其它无水害威胁地段的通道处。

防水闸门是由混凝土闸墩、门框及门扇等组成（图 7—34），门框的尺寸应能满足运输的需要，在门扇与门框之间夹以厚橡胶皮以防漏水。根据水压的大小，门扇可用铁板或钢板制成。通常门的形式为平面状，但当水压超过 $2.53\times10^6\sim3.04\times10^6$Pa 时，应采用球面形状。

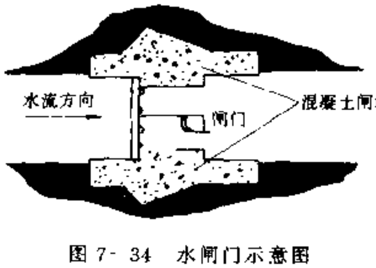


图 7－34　水闸门示意图

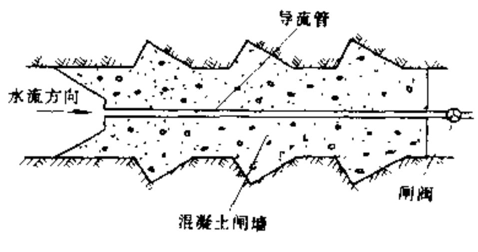


图 7—35　永久性多段水闸墙示意图

防水闸门平时是开的，为了便于运输，中间铺设有易于拆卸的活动轻便铁轨。当发生水患时，可迅速将活动铁轨拆除，并关闭防水闸门。

（2）防水墙　一般是在某个区段开采结束后，隔绝有继续大量涌水可能而砌筑一种永

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

远封闭的挡水建筑，通常用混凝土或钢筋混凝土修筑。根据抗压能力的大小，防水墙的形状有平面形、圆柱形及球面形等三种。其中，平面形的抗压能力小，但易施工；球面形的抗压能力大，而其施工复杂；圆柱形的防水墙既能承受较大压力且施工较为简单，故多用圆柱形的防水闸。在水压特大的情况下，可用钢筋混凝土修筑多段防水墙（图 7－35)。

5．含水层的疏排

含水层的疏排是利用抽水或放水的方法，使含水层疏下或使其水压降低，从根本上消除任何突水的可能。常用的方法有：

（1）巷道疏放　当煤层直接顶板为含水层时，通常是将采区巷道和采面巷道提前准备出来，利用这些巷道预先疏放顶板含水层（图 7－36)。当含水层位于煤层底部时，可将开拓准备巷道布置在含水层中，利用其直接疏放。如湖南煤炭坝煤矿开采龙潭煤系煤层，底板为茅口灰岩强含水层，原先将运输巷道布置煤层中，由于隔水层很薄，其水大压力也大。后来将运输巷道直接布置在底板茅口灰岩喀斯特发育带中（图 7－37)，既收到了很好疏水效果，也解决了巷道布置在煤层中经常被压垮的问题。

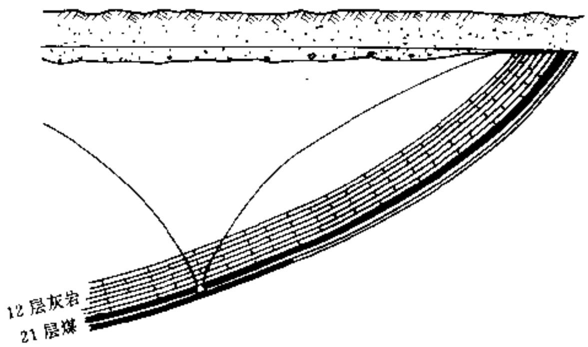


图 7－36　利用巷道疏放顶板灰岩含水层

（2）放水钻孔　当煤层上部含水层离煤层较远，回采准备巷道收不到疏放效果时，可在巷道中每隔一定距离向含水层打放水钻孔进行预先疏放。

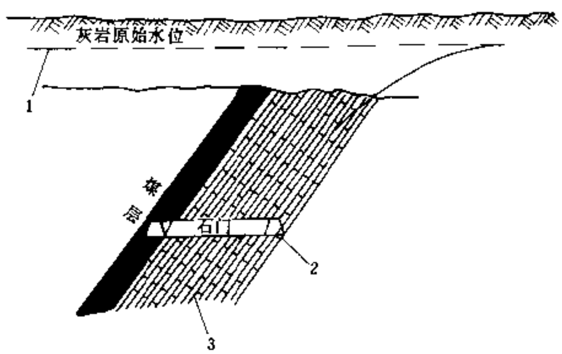


图 7－37　直接布置在含水层中的疏放水巷道
1—灰岩原始水位；2—疏放水巷道；3—石灰岩含水层

（3）疏放降压钻孔　当煤层下部含水层水压很高，有突水危险时，在计划疏降地段的巷道中每隔一定距离向底部含水层打钻放水，使之形成降落漏斗，逐步将静止水位降至安全水头以下（图 7－38)，如我国华北型煤田很多矿井常常利用这种方法，对太原群灰岩含水层逐层分水平进行疏放降压，使一些煤层从地下水的威胁中解放出来。

（4）吸水钻孔　吸水钻孔是指将煤层上部含水层中的水放人煤层下部含水层中的钻孔（图 7－39)。

吸水钻孔疏放不需要任何排水设备，且还不会增大排水量，但使用这种方法所要求的条件极其苛刻，故而使用这种方法的例子并不多见。

（三）注浆堵水

所谓注浆堵水，就是利用注浆技术将制成的浆液压人地层空隙，使其扩张凝固硬化来加固地层并堵截补给水源的通道。

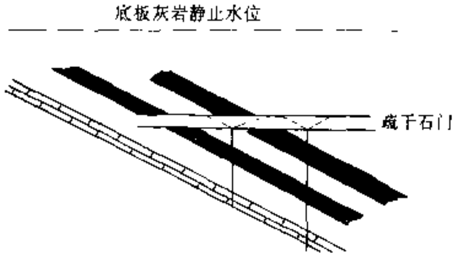


图 7-38 利用疏干石门和疏放降压钻孔疏放底板水示意图

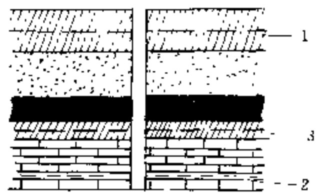


图 7—39 吸水钻孔示意图
1—煤层上部砂岩含水层水位；2—煤层下部灰岩含水层原始水位；3—灰岩含水层吸水后水位

注浆堵水的工艺和所用设备比较简单，是防治矿井涌水行之有效的措施，许多煤矿经过注浆堵水后，大大减小了涌水量，改善了劳动条件，取得了较好的效果。在煤矿建设和生产中，井筒地面预注浆、井筒工作面预注浆、井筒井壁注浆、帷幕注浆及注浆恢复被淹矿井等被广泛应用。

1. 注浆材料

凡是一种液体，在一定条件下可以变成固体的物质，一般来讲都可以当作注浆材料。目前常用的注浆材料有水泥浆液、水泥一水玻璃浆液和 MG－646、木胺、铬木素及塔克斯（TACSS）等化学浆液。

2. 注浆工艺

注浆工艺主要包括选择注浆方案、注浆设备、注浆材料，确定注浆方式、注浆深度、及注浆参数，布置注浆孔及其钻进和检查注浆效果等内容。

3. 注浆设备

主要包括注浆泵、搅拌机、混合器、止浆塞和配套仪器仪表等。它是制备和输送浆液的系统，是使浆液进入地层裂隙或孔隙的动力源。所以注浆设备的选择，应按设计的供浆量和注浆压力来确定，并且必须满足最大浆量和最大压力的要求，另外还应有备用的设备，以保证注浆工作的连续进行。对化学注浆，还需注意耐腐蚀的问题。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第八章　煤矿环境地质

随着煤炭资源的大规模开发利用，煤矿环境污染和破坏日益严重，由此带来的环境问题和社会问题也日益突出。保护矿区环境、防治煤矿环境污染和破坏已越来越受到了人们的重视，并成为煤炭工业生产和建设必不可少的组成部分。由于煤矿环境、煤炭资源及其开发利用与地质、水文地质、地球化学等地质环境因素有着极为密切的关系，因此，煤矿环境地质也就成为煤矿地质研究的重要内容和煤矿环境保护的基础工作。

第一节　煤矿环境地质研究内容

煤矿环境地质是环境地质学这一新兴交叉边缘学科的重要组成部分，其研究内容广泛，综合性强。它以地质学和环境学的理论和方法为基础，以地质因素引起的环境问题为研究对象，以煤炭开采过程引起的环境地质问题为重点，分析地质环境、生态环境和煤炭开发利用活动之间的相互作用和影响；研究矿区环境地质特征和现代地质过程（如滑坡、泥石流、地震、矿山岩移等）引起的环境问题和环境灾害及其预测和防治方法；探讨采矿活动产生的地质作用对地质环境的影响以及诱发的环境地质问题；揭示矿区地质环境中的化学元素与人体健康的关系；提出改善和控制矿区环境质量的地质原理和方法。具体研究内容有五个方面。

一、煤矿原始环境地质条件和环境质量

（1）矿区内有害地质体的种类、规模、分布及其相关特征。

（2）矿区地质环境中有害物质的种类、成分及其含量、赋存状态、分布和迁移规律等。

（3）与有害地质体和有害物质及其变迁、循环、累积、扩散等有关的地质、水文地质、地球化学条件。

（4）与地质、水文地质、地球化学等条件有关的矿区原始环境状况及质量水平。

二、煤矿生产活动引起的环境地质问题

（1）煤炭资源开发（如建井、开采）和利用过程所产生的地质作用及其对地质环境的影响。

（2）煤矿生产活动引起的环境地质条件和环境污染地质因素的变化及其特征。

（3）煤矿生产产生的废石、废水、废气等污染物的性质、成分及其含量和污染类型。

（4）煤矿生产导致煤层、煤矸石、地下水等地质体中有害物质迁移、聚集、扩散等的途径和地质因素。

（5）煤矿生产活动造成的煤矿空气污染、水土污染、辐射污染（热、光、放射性污染）、振动污染等的形成、特点及其与地质因素的关系。

三、煤矿环境地质灾害

(1) 煤矿环境地质灾害的类型、成因、分布和灾害程度。

(2) 煤矿环境地质灾害的诱发因素。

(3) 煤矿环境地质灾害的预测及其方法。

(4) 煤矿环境地质灾害对环境的影响等。

四、煤矿资源保护和环境污染防治方法

(1) 煤炭及其共伴生矿产资源的综合开发利用途径和方法。

(2) 煤矿“三废”的处理和综合利用途径和方法。

(3) 煤矿环境地质灾害、不良地质现象及环境污染防治对策。

(4) 煤矿区自然和人文景观、水土和生态资源的管理和保护方法。

五、煤矿环境地质监测和分析评价技术

(1) 地面环境地质监测和分析评价技术。

(2) 井下环境地质监测和分析评价技术。

第二节 煤矿环境污染因素和危害

一、煤矿环境污染因素及其特点

影响煤矿环境质量的因素很多，可归纳为天然环境因素和人为环境因素两大类。

由地质、水文地质、地球化学等天然因素影响和决定的环境称为原始环境或第一环境。原始环境与人类生存之间不平衡造成的问题称为原生（或第一）环境问题。它是在地质历史发展过程中由各种地质作用逐渐形成的。例如地壳表面化学元素分布不均衡所引起的形形色色的地方病和灾害地质作用造成的环境破坏和生态灾难等。

由人类生产和生活等人为因素影响和决定的环境称为次生环境或第二环境。次生环境与人类生存矛盾造成的问题称为次生（或第二）环境问题，通常称之为“环境污染”问题。它是在人类活动过程中由开发利用自然资源、生命循环与代谢等“人的地质作用”造成的。如开发资源造成的环境组成、结构的破坏及其诱发的环境灾害；由于开发资源而排放、堆积的各种废弃物对生态系统和人类健康的危害等。

引起煤矿第二环境问题（即环境污染问题）的因素归纳起来有下面几种。

（一）固体废物

煤矿的固体废物主要有矸石、露天矿剥离物、煤泥、粉煤灰和生活垃圾等。其中对环境影响最大、最普遍的是矸石。

1. 矸石

矸石是煤炭生产过程中产生的岩石的统称，包括煤矿采掘过程排出的岩石、混入煤中的岩石、采空区垮落的岩石、工作面冒落的岩石及选煤过程中分离出来的碳质岩等。煤矸石是矸石的一种，是成煤过程中与煤层伴生、灰分通常大于50%，发热量一般在3.3～8.3MJ/kg的一种碳质岩石。矸石排放量取决于煤层条件、开采方法、选煤工艺等。一般每采1t原煤排矸0.2t，若包括掘进矸石平均可达1t。矸石常由碳质泥岩、泥岩、砂岩、灰岩等组成，矿物成分主要有高岭石、蒙脱石、石英、长石、伊利石、方解石、黄铁矿、白云石、水铝矿等，也含有少量稀有金属矿物；化学成分以SiO_2（含量50%～70%）、Al_2O_3（含量20%～30%）为主，并有含量不等的Fe_2O_3、CaO、MgO、TiO_2、K_2O、Na_2O、P_2O_5

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

和 V_2O_5 等。

2．露天矿剥离物

露天矿剥离物的岩石组成和排放量取决于煤层上覆岩层的岩性、煤层的埋藏深度和赋存条件、地形条件和剥离厚度等。剥离层一般有泥岩、砂岩、灰岩及松散沉积物，其中泥质岩是主要的。

3．煤泥

煤泥是在煤炭开采、运输、洗选等过程中产生的泥状物质。其形成与煤及煤矸石的物理性质、煤炭开采和运输方法、选煤工艺、煤泥处理系统等有关。煤泥一般呈塑性体或松散体和泥固体；灰分含量高、粘土物质多；热值低；持水性强。

（二）废水

煤矿废水主要有采矿废水、选煤废水及其它附属工业废水和生活废水。

1．采矿废水

采矿废水指外排的矿井水。它是由伴随矿井开采而产生的地表渗透水、地下含水层渗流水和疏放水以及采掘生产和防尘用水等组成，是煤矿排放量最大的一种废水。据有关资料显示，我国国有重点煤矿每年外排矿井水超过 20 亿 m^3，平均吨煤排水 $4m^3$ 左右。焦作矿务局王封矿吨煤排水量高达 $80m^3$ 以上。

煤矿矿井水质因区域水文地质条件、煤质状况等因素的差异而有所不同。根据矿井水质可将矿井水分为五种类型。

（1）洁净矿井水　未被污染的干净矿井外排水。水质呈中性，低矿化度，低浊度，不含有毒有害离子，基本符合生活饮用水标准。有的含有多种微量元素，可开发为矿泉水。

（2）含悬浮物矿井水　水质呈中性，矿化度小于 1000mg/L，无有毒有害元素，且金属离子很少，含有大量的悬浮物、少量可溶性有机物和菌群等。这类矿井水在我国煤矿区分布广泛，主要是由井下生产所产生的大量煤、岩粉以及井下生产和职工生活的各种废弃物混入矿井水而形成。一般除悬浮物、细菌和感观指标外，其它理化指标均可达到饮用水卫生标准。

（3）高矿化度矿井水　水质多呈中性或弱碱性，含有 SO_4^{2-}、Cl^-、Ca^{2+}、K^+、Na^+、HCO_3^- 等离子，矿化度（无机盐总含量）大于 1 000mg/L，带有苦涩味。根据其矿化度又可分为微咸水（矿化度 1 000～3 000mg/L）、咸水（矿化度 3 000～10 000mg/L）、盐水（矿化度大于 10 000mg/L）。我国高矿化度矿井水主要分布于北方矿区、西部高原、黄淮海平原及华东沿海地区（见表 8－1）。高矿化度矿井水的形成与煤中含有大量碳酸盐和硫酸盐矿物、矿区气候干旱和地下水补给不足导致矿井水中盐分浓缩或矿区地处沿海而受海水侵入等因素有关。这类矿井水因含盐量高且带苦涩味而不宜直接饮用。

（4）酸性矿井水　指 pH 值小于 5.5 的矿井水。其形成的主要原因是煤层及其围岩含硫量偏高，并与矿井密闭程度、大气流通状况、矿井水来源与流径、开采深度等因素有关。由于酸性水易溶解煤层及围岩中的金属元素而可使矿井水中 Fe、Mn、重金属元素和无机盐类离子增加，导致矿化度和硬度升高。这类矿井水在我国南北方都有分布（见表 8－2），尤以南方煤矿分布最为广泛。

（5）含特殊污染物矿井水　根据含污染物种类可分为含氟矿井水、含重金属元素矿井

表 8—1 我国部分国有重点煤矿高矿化度矿井水含盐量

矿务局（矿）	含盐量 mg/L	矿务局（矿）	含盐量 mg/L
窑街一矿 1 号井	2985.42	铜川王石凹矿	3459.81
窑街二矿 2 号井	4252.67	韩城桑树坪	2254.84
窑街三矿 3 号井	3274.11	韩城崔家沟矿	3531.11
靖远红会一矿	4751.50	乌鲁木齐六道湾	7328.46
靖远红会三矿	4192.28	海勃湾公乌素 3 号井	2586.90
靖远红会四矿	4233.23	海勃湾公乌素 2 号井	3140.77
靖远大水头	3396.83	徐州张集矿	1785.00
靖远宝积山	6884.11	徐州二河尖矿	2093.75
靖远魏家地	2546.45	淮北临涣矿	3024.85
靖远王家山 2 号井	13529.40	淮北海孜矿	2922.81
靖远王家山 3 号井	15154.92	大屯张双楼矿	2752.76
靖远王家山 4 号井	13199.02	淄博夏庄矿	2719.00
靖远王家山 5 号井	1551.86	新汶华丰矿	5794.00
山丹矿	13170.04	新汶孙庄矿	3444.53
阿干镇阿井	1704.11	新汶协庄矿	1697.50
阿干镇石井	1734.61	枣庄柴里矿	1596.03
石嘴山一矿	7273.50	枣庄枣庄矿	2472.76
石炭井二矿	3181.47	阜新清河矿	2224.00
铜川李家塔矿	4362.45	山东坊子煤矿	1817.00
铜川史家河矿	28144.00	龙口北皂矿	5825.00

（据芮素生《煤炭工业的持续发展与环境》，1994）

表 8—2 部分煤矿酸性矿井水 pH 值

矿务局（矿）	pH 值	矿务局（矿）	pH 值
黄石 沙田矿	2.9～3.2	石炭井三矿	4.6
铜锌矿	3.6	乌达 五虎山	4.4
松散矿	3.0～4.6	苏海图	3.8
松宜 坛子口井	3.4	黄白茨	3.6
猴子洞井	4.9	海勃湾老石旦 2 号井	2.7
资兴 高仑矿	3.0～4.0	铜川 李家塔	3.0
宇字矿	3.0	史家河	3.0
涟邵 金竹山矿	3.0	王石凹	2.8
红工 一矿	2.5～3.0	三甲洞	3.6
二矿	2.5～3.0	枣庄 朱子埠	3.5
姑占岭矿	4.5	三家村	4.6
羊角矿	4.6	枣 庄	5.4
红茂矿务局	5.1～5.7	淄博 西 河	3.2
		夏 庄	4.6
罗城矿务局	5.1～5.7	义马 千 秋	3.2

（据芮素生《煤炭工业的持续发展与环境》，1994）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

水、含放射性元素矿井水、含油类矿井水等。我国含氟矿井水主要分布于北方的一些矿区，含氟量超过 1mg/L 的国家规定饮用水标准（见表 8—3），其形成与高氟地下水或矿区附近的含氟火成岩矿层有关；含重金属元素矿井水在我国的一些矿区有少量分布，主要是含铁、锰矿井水，水中除含有低价态的 Fe^{2+}、Mn^{2+} 外，常含有 Cu^{2+}、Zn^{2+}、Pb^{2+} 等离子，其形成与地下水处于还原条件下有关；含放射性矿井水和含油矿井水在我国的一些煤矿也有存在，其形成与煤及其围岩或地下水中含放射性物质以及煤系中有含油层等有关，我国某些煤矿矿井水中总 α 浓度达 0.330～0.633Bq/L，总 β 浓度达 1.052～7.500Bq/L，已超过了国家规定的饮用水卫生标准（表 8—4）。

表 8—3　部分煤矿矿井水含氟情况

矿务局（矿）	含氟量 mg/L	矿务局（矿）	含氟量 mg/L
澄合权家河	1.40	阜新清河	2.40
淮北岱河	1.48	海勃湾公乌素 2 号井	2.80
海孜	1.66	淮南谢一矿	3.40
山东坊子	1.87	新庄孜	4.22
淄博岭子	1.95	龙口北皂矿	5.70
北票台吉	2.00		

（据芮素生《煤炭工业持续发展与环境》，1994）

表 8—4　我国某些煤矿放射性矿井水总 α、β 浓度

煤　矿	砚石台	南　桐	NST1	FZ1	FZ2	MC	BS	国家标准
总 α（Bq/L）	0.633±0.224	0.481±0.123	0.6			0.33	0.39	0.1
总 β（Bq/L）	1.052±0.068			7.5	7.5			1.0

（据卜贻孙，1993）

2. 选煤废水

选煤废水是煤炭湿法洗选过程中产生的废水。其中含有大量悬浮煤粒，故也称其为煤泥水。此外，选煤废水中还含有一定量的石油类、酚类、醇类、聚丙烯酰胺等有毒有机药剂和煤中浸出的各种离子和放射性元素等。因此，选煤废水是一种有毒废水。其排放量与选煤工艺和设备有关。我国目前每洗 1t 原煤约外排 0.8～1m^3 废水，年外排煤泥水总量达数千万立方米，随着我国原煤入洗率的提高，煤泥水产生和外排量将不断增大。

3. 其它工业废水

指机修厂、火药厂、矿灯厂、焦化厂等煤矿附属企业在生产过程中产生的废水。目前，我国此类废水的年排放量在 2 000～3 000 万 m^3 之间。虽然其排放量不大，但毒性却很高，原因是这些废水中含有不同种类、不同程度的有毒有害物质。如机修厂废水中含有酚、油、铬、镉、镍、锌等有害物质；焦化厂废水中含有酚、氢化物、硫化物、氨等；火药厂废水中含有三硝基甲苯、二硝基重氮酚等；矿灯厂废水中含有氰化物、镉、铅、铬等。

（三）废气

煤矿废气主要包括采矿废气、燃煤废气、煤和煤矸石自燃废气。

1. 采矿废气

采矿废气主要是指由矿井中排出的废气。它是由井下人员呼吸、爆破、充电、坑木腐烂、煤岩层氧化等所产生的气态物质和煤层及其围岩、地下水等释放的天然气污染井下空气而形成的。其中含有多种有害成分，包括以甲烷为主的烷烃、芳香烃、氢等可燃性气体和二氧化碳、氮等窒息性气体，以及硫化氢、一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮等有毒气体。

2. 燃煤废气

是指煤矿区锅（窑）炉和民用灶燃煤产生的废气。其中含有烟尘、硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物、碳氢化物等有害成分。这些有害物质的产生量随煤质、燃烧方式、燃烧条件的不同而有很大差异，燃烧1t煤可产生一氧化碳0.5～45kg、碳氢化合物0.15～45kg、氮氧化物1.5～27kg、醛类0.0025kg、硫氧化物19S（S为煤中硫含量）kg、烟尘1～8A（A为煤的灰分产率）kg。燃煤废气是大气污染物的主要来源，约占大气污染物总量的70%。煤矿区大气污染亦属煤烟型。据有关资料显示，我国国有重点煤矿现有锅、窑炉近万台，每年排入大气的燃煤废气超过1 700亿m^3，烟尘和二氧化硫排放总量均在30万t以上，煤矿区煤烟型大气污染甚为严重。

3. 自燃废气

自燃废气是指煤和煤矸石发生自燃过程中产生的废气，其成分与燃煤废气相同或类似。煤主要是由可燃物质构成的，煤矸石中也含有一定量的可燃物，它们在一定条件下会因缓慢氧化热的大量聚集而自然发火。其表现形式有煤层露头着火、开采地表沉陷露风区着火、地面煤堆和矸石山着火、井下煤壁着火等。煤和煤矸石自燃现象在我国较为严重。据资料显示，我国共有近240座矸石山发生自燃，目前仍有140余座矸石山在燃烧。铜川矿务局13个煤矿中就有6个矿的矸石山发生自燃；新疆煤田88个产煤地就有煤层自燃火区42个，每年烧毁煤炭资源达1亿t之多。据目前研究结果表明，煤和煤矸石自燃的发生、发展与煤岩成分、煤化程度、煤的还原性、煤层的地质条件、开采方法、煤和矸石的堆放方式及其条件等诸多因素相关。

（四）粉尘

煤矿的采掘、运输、选煤等生产过程以及燃煤、煤层和矸石山自燃等都会产生粉尘。其中采掘过程是煤矿产尘的主要因素。如在地下开采中，采掘工作面产生的粉尘可占矿井产尘总量的70%～85%。

煤矿粉尘以煤尘为主，也有岩粉和其它物质粉尘。其中含有砷、铬、隔、硒、铍、锌等微量有害元素和铀、钍、钴等放射性元素，并具有湿润性、粘附性、电荷性、爆炸性、气溶性等一些特殊性质，可悬浮于矿井水和空气之中或沉附于各种物体表面。产尘量一般与煤及其夹矸的性质、采煤方法、地质构造的破坏程度以及煤层的赋存状况和水文地质条件等因素有关。

（五）岩体移动

岩体移动简称岩移。它是指在外界因素影响下，地壳岩体失去原有平衡状态而发生移动的现象。矿山岩体移动主要由采矿活动引起，煤层自燃、矸石堆积等也可引起岩体移动。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

如新疆奇台县北山火区，煤层自燃引起的地面塌陷达8～10m。

由采矿活动引起并直接破坏环境的岩体移动主要包括地下开采造成的地表移动和露天开采引起的滑坡。由于煤矿多为地下开采，因此，煤矿区分布广泛且对环境破坏最强的是采矿地表移动。当煤层被采出以后，煤层顶板及其上覆岩层在重力作用下发生垮塌，这种垮塌波及到地表时，便形成了地表移动。因此，采矿塌陷均分布于矿井采空区上方。其变形形式有地表坍陷、凹陷和断裂。根据地表移动区的形状和变形特点可将其分为两类。

(1) 漏斗状陷坑和阶梯状断裂　这类地表移动发生突然、快速、强烈，危害严重但破坏范围小；主要发生在浅部急倾斜煤层采空区和开采深度与煤层开采厚度之比小于20的缓倾斜煤层采空区以及较大地质构造分布区。

(2) 缓波状沉陷盆地　这类地表移动形成过程比较缓慢，且在时空上是连续的，一般影响范围较大；主要分布于深部急倾斜煤层采空区和开采深度与煤层开采厚度之比大于20的缓倾斜煤层采空区。

一般来说，地表移动的最大深度约为煤层开采厚度的70%～80%，但这必须是在采空区的长、宽度均达到或超过开采深度的1.4倍时才可能发生，有人称此种地表移动为充分开采塌陷。在个别煤矿，由于开采引起的含水层或疏沙层疏干等其它因素的叠加影响，最大塌陷深度可达煤层开采厚度的1倍以上。塌陷容积约为煤层采空体积的60%～70%，塌陷面积约为煤层采空区水平投影面积的1.2倍。

(六) *矿井热*

矿井热指矿井生产过程中所产生和形成的热。它是决定矿井内空气温度、湿度等微气候条件的重要因素。一般来说，若空气温度超过27℃，人体散热就极为困难，并可能从空气中吸热而使人体热平衡破坏。因此，我国《煤矿安全规程》规定："生产矿井采掘工作面空气温度不得超过26℃；机电硐室的空气温度不得超过30℃"。当矿井热导致矿井气温超过规定值时，便形成了矿井热害。

形成矿井热的热源有地热、空气压缩热、井下煤岩层氧化热、矿井热水热、煤层自燃热、机电设备运行热、爆破热及井下人员人体热等。其中地热是引起矿井热害的主导因素。随着煤矿开采深度的增加，地温会不断升高，由此造成的矿井热害问题越来越突出。我国国有重点煤矿目前的平均开采深度已达600m左右，由于开采深度和地温异常的影响，不少煤矿已受到了程度不等矿井热害威胁。例如，平顶山八矿，－430m水平的地温已达35℃左右，虽经通风，掘进工作面的平均气温仍在30℃上下，预计－800m水平的地温将达45℃。此外，地温的提高也会导致井下空气湿度的增大而形成高湿环境。

(七) *噪声*

煤矿在开发建设中会产生许多噪声，如工业生产噪声、交通运输噪声、建筑施工噪声和社会生活噪声等。

煤矿生产所用设备高噪声的多，据我国华北一些煤矿调查，70%以上的设备运行噪声大于90dB (A)，25%左右的设备运行噪声在100～130dB (A) 之间。如扇风机、空气压缩机、凿岩机、采煤机和洗煤厂的跳汰机、破碎机、振动筛等均属高噪声设备。此外，采掘爆破噪声亦是高噪声。这些噪声都属于工业生产噪声，因此，工业生产噪声是煤矿区噪声的主体。

二、煤矿环境污染的危害

上述各因素对煤矿环境的污染方式是多种多样的，既有直接污染又有间接污染，既有化学污染又有物理污染，也有生物污染。环境污染所造成的危害也是多方面的，归纳起来主要有八个方面。

（一）破坏土地资源

露天采矿直接挖损土地；地下开采造成土地塌陷损坏；煤矸石和剥离物排放压占土地；采矿“三废”污损土地；采挖和塌陷引起的微地形地貌和地质、水文、水文地质等条件的变化可导致土地排水系统、给水系统的破坏和水、热、气、肥等土壤肥力因子的恶化，以及地表积水、盐渍化、沙漠化和水土流失等。可见，煤矿开采及其环境污染对土地资源的破坏是十分严重的。据统计，1949～1989年，我国露天煤矿挖损土地面积9 600hm^2，剥离物压占土地8 000hm^2，采煤总量约8亿t，平均每采万吨煤挖损土地0.12hm^2，剥离物压占土地0.1hm^2；地下采矿造成的地表下沉大于10m的采矿塌陷影响性土地面积30万hm^2，其中造成地面积水和绝产需征地的采矿塌陷破坏性面积19万hm^2；矸石山压占土地0.9万hm^2。煤矿生产造成的土地环境破坏已成为我国耕地锐减的重要因素之一。此外，煤矿废水的排放、固体废物的淋滤可使其周围土壤结构恶化、有毒有害成分增加，不同程度地抑制农作物的生长，从而形成许多低产田。

（二）破坏水资源

采矿工程和采动岩移可改变地下水和地表水的储存和循环状态，疏干和破坏水资源，造成井泉干涸成水位下降以及地表水流失；采矿和洗煤生产要消耗大量洁净水；矿井开采抽排水使得大量的洁净水被不同程度污染后而排放掉；煤矿“三废”又可使矿区周围的水资源遭受不同程度的污染。如湖南恩口煤矿，自1972年恢复基建到1989年底，形成地表塌陷6 100余个，960hm^2多农田受损，破坏水库8座，并使得壶天河水大量灌入矿井而造成淹井；徐淮矿区由于采动影响和矿井水疏排，使第四系含水层水位下降了144m；阳泉矿务局由于煤矿废水直接外排等原因，使矿区唯一的主干河——桃河及各支流和其周围的几十眼浅层水井遭受严重污染；六枝矿务局地属煤矿由于煤泥水外排而使著名的黄果树瀑布受到严重污染曾被勒令停产。此外，煤矿固体废物可随大气降水、地表径流、风流及渗滤水进入地表水体和地下水而污染水资源。

（三）影响大气结构

煤矿环境污染不仅能改变井下和矿区空气的成分和结构，造成烟尘弥漫、能见度降低、有毒有害成分偏高等不良空气状况，而且会在一定程度上影响整个大气圈的成分和结构以及与岩石圈、水圈、生物圈的动态平衡，促进或加剧温室效应、臭氧层破坏、酸雨、烟雾等气象灾害的形成。如煤矿废气中含有大量的CH_4（占人类活动排放总量的10%以上）和CO_2等温室气体，排入大气后可使温室效应和平流层臭氧减少加剧；矿井废气中含量很高的硫氧化物和氮氧化物等则是酸雨和光化学烟雾形成的物质基础和根源。另外，矿井热、粉尘、烟尘等污染也会对矿区气温、气流、湿度、降雨量等微气候条件以及大气圈与其它圈层的物质和能量交换产生不同程度的影响。

（四）污损自然景观

煤矿环境污染可使矿区微地貌、微地理、地表水体、植被条件等发生改变，使自然和人文景观遭受不同程度的污损和破坏。如矸石山的堆积、煤尘的漂浮弥漫和在各种物体表面的附着、井泉和地表水体的干涸或污染变色、采矿塌陷坑的遍布和积水、植被的烧毁和

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

退化、水土流失和大量耕地的绝产荒芜、文化遗址的污损等，无不影响和破坏自然景观的整体美。

（五）诱发环境灾害

煤矿环境污染可诱发和形成许多环境灾害，严重威胁煤矿的生产安全和矿区居民的人身安全。如矸石山堆积和采矿岩移可诱发山体滑坡、山崩、泥石流、矸石山滑塌、矸石流等环境地质灾害；采矿废气中的可燃气体和煤尘达到一定浓度时会发生爆炸；CO_2、SO_2、NO_x 等有毒有害气体浓度达到一定值时会造成矿工窒息、死亡；采动压力可诱发冒顶、片帮、矿井水突出、煤与瓦斯突出和地面建筑物倒塌、断裂等灾害事故。

（六）破坏生态平衡

由于矿区土壤、水体、大气的污染，使生物群落与环境之间已有的物质（如水、碳、氮、氢、氧等）循环被打破，加之有毒有害物质的积聚和煤矿噪声、矿区居民生产生活活动的干扰及整体环境的破坏，使得生物赖以生存的环境发生变迁和恶化，从而导致某些生物的退化、灭亡或逃逸，已有的生物链被打破，自然生态失衡。

（七）危害人类健康

环境污染对人类的影响，轻则致疾，重则死亡。所致之疾病既有急性的，也有慢性的，且以慢性的为多。煤矿环境性疾病按其性质大致可分为：

(1) 粉尘性疾病　最常见的是煤肺病、硅肺病和煤硅肺病。

(2) 放射性疾病　煤系地层、煤层、矿井水中常含有放射性矿物或元素，可通过粉尘、水等进入人体并积累引致放射性疾病。

(3) 矿物质中毒性疾病　如 CO、SO_2、镉、砷、铅、铬、氰化物等中毒疾病。

(4) 体内元素比例失衡性疾病　如体内铜、钼含量增多可产生骨质疏松症；体内氟含量太高可引起氟骨病、氟牙病等。

(5) 其它性质疾病　如工业噪声、震动、矿井热及井下空气恶臭等引起的心血管疾病、神经系统和消化系统疾病等。

（八）制约煤矿的可持续发展

煤矿环境污染不同程度地制约了煤矿的可持续发展。如采动岩移和矿井抽排水对水资源的破坏以及煤矿“三废”对水资源的污染，使煤矿区缺水现象加剧，正常的生产和生活用水难以保证；由地热引起的矿井热害使矿区深部煤炭资源开采困难甚至无法开采；煤层自燃、岩层移动等使得大量的煤炭资源损毁或呆滞，致使矿井服务年限大大缩短。

此外，煤矿开采及其造成的环境污染和破坏也会引起移民（我国平原区平均每采万吨煤需移民 2 人），矿地、矿群矛盾和纠纷等社会环境问题，以及缴纳排污费、资源损失费、支付高额环境性疾病医疗费等经济环境问题。

第三节　煤矿环境监测与质量评价

一、煤矿环境监测

（一）监测网点布设

煤矿环境监测网是国家环境监测网的组成部分。应在国家环境监测网站建设的统一部署下，根据各煤矿的实际情况，建立科学合理的监测网。建网的基本原则是：网点和取样

点及其密度选择必须具有足够的代表性，并能充分反映监测内容的变化和分布特征，同时又要经济合理。一般来说，布点的具体方法随监测对象不同而有所差异。

1. 对面状监测对象（如矿区大气、水库、湖泊、矸石山等）的布点方法

常用的布点方法有 4 种。

（1）网格布点法 即采用方格式坐标均匀布点。此法适用于污染源非常分散的大区域监测。

（2）同心圆布点法 也称放射式布点法。即以污染源或其排放口为中心画若干同心圆，然后从中心引出若干射线，射线与同心圆交点即监测（或取样）点。此法适用于污染源固定且集中的小区域监测和独立固定的污染源监测。

（3）扇形布点法 以污染源排放口为中心，在其排放扩散方向（如风井口、烟囱等的主导下风方向）画一扇形面，并在扇面内画若干等半径弧线，进而在弧线上布点。此法适用于单个独立的污染源监测。

（4）功能分区布点法 即按工业区种类以及生活区、交通繁忙区等分区分别布点。此法适用于了解污染物排放对不同功能区的影响。

2. 对线状监测对象（如河流、井下巷道、工作面等）的布点方法

一般按一定距离并结合污染源排放口、交汇点、采样点等综合布点。

3. 对点状监测对象（如机器噪声等）的布点方法

通常根据不同对象在其表面或附近的一定距离内布点。

（二）监测方法

环境监测方法很多，归纳起来可分为两类。

1. 化学分析法

即在一定时间或期间内先由监测采样点采集监测分析样品，然后在实验室对样品进行物理化学分析或仪器测定。因而也称其为化学—实验室仪器分析法。

2. 连续分析法

即利用自动监测仪器（如 SO_2 监测仪）在监测点上直接对监测内容进行连续跟踪监测。故也称连续自动监测仪器分析法。

监测工作是一项长期和连续的工作，监测方法、采样方法及其器具应采用国家规定的标准方法或统一方法并保持相对稳定，以便对监测结果进行对比分析。

（三）监测内容

1. 煤矿大（空）气监测

主要监测内容包括：降尘（粒径大于 $10\mu m$）、飘尘（粒径小于 $10\mu m$）等固态污染物；硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物、碳氢化合物及有毒有害气体等气态污染物；放射性元素等其它污染物；影响污染扩散的气象因素以及与光化学烟雾有关的太阳辐射、能见度等。

2. 水质监测

主要监测内容包括：水温、色度、浊度、酸碱度、导电率、硬度、悬浮物、溶解氧、化学和生物化学需氧量、耗氧量、水生生物和各种有毒有害物质以及与扩散有关的流量、流速、水深、风速、风向、日照强度、气温、湿度等水文、气象因素。

3. 土质监测

主要监测内容包括：腐植酸、氮、磷、钾等营养元素；重金属元素和其它有机、无机

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

毒物及酸度；土壤的类型、结构、性质等。

4．岩移监测

主要监测内容包括：岩体移动方向、速度；井巷及工作面收缩、变形；地表移动方式、类型、规模、范围；岩体应力、应变；支护及充填体应力变化；岩体强度等。

此外，煤矿环境监测内容还包括矿山噪声、地热、煤及矸石山自燃、劳动卫生等。

（四）监测数据整理

煤矿环境监测数据甚多，为了简单明了地说明监测结果，需要对数据进行统计整理。常用统计表示方法有3种。

1．算术平均值法

这种方法用于在监测时间长、数据多的情况下说明某一监测参数的平均水平或集中趋势。但此法因其未能反映最大值，故不能说明污染最严重时对环境的影响程度。

2．几何平均值法

该方法适当考虑了污染物最大浓度对环境质量的影响，故得到了较为广泛的采用。其计算公式为：

$$C_i=\sqrt{(C_{i,\mathrm{av}})\ (C_{i,\max})} \tag{8-1}$$

式中　C_i——污染物浓度统计值；

$C_{i,\mathrm{av}}$——污染物浓度算术平均值；

$C_{i,\max}$——污染物浓度最大值。

3．超标率法

这种方法通常用于一定期间（年、季、月等）监测数据统计报表中数据的整理。计算公式为：

$$S_i=\frac{N_{i,s}}{N_{i,T}}\times 100\% \tag{8-2}$$

式中　S_i——污染物超标率，%；

$N_{i,T}$——污染物监测样本总数，个；

$N_{i,s}$——污染物超过排放（或环境）标准的样本数，个。

二、煤矿环境质量评价

环境质量评价是对矿区环境素质优劣的定量和定性描述。其目的在于查明矿区环境质量的历史和现状，确定影响环境质量的污染源及其污染物，掌握矿区环境质量的变化规律并预测环境质量的变化趋势，为煤矿环境污染防治提供依据。

（一）环境质量评价类型

煤矿环境质量评价按评价的时间范围可分为3种类型。

1．环境质量回顾评价

指通过对矿区环境背景的社会特征、自然特征及污染源等的调查了解，分析矿区环境质量演变过程，弄清引起环境问题的各种原因和形成机理。

2．环境质量现状评价

指通过环境现状的监测与调查，分析研究环境污染的现状及其时空变化规律，对煤矿区当前环境质量作出评价。

3. 环境质量预测评价

指根据污染源、环境要素、污染物浓度等的变化特征及其相关性，推断污染物分布的可能变化，预测未来矿区环境的变化趋势。

此外，煤矿环境质量评价也可按评价的环境要素范围分为单要素评价、联合评价和综合评价三种类型；按评价的空间范围分为井下环境质量评价、地面环境质量评价等。

（二）环境质量评价内容

1. 环境背景的调查与评价

环境背景调查和评价的内容可分为自然环境特征和社会环境特征两个方面。

自然环境特征包括矿区地理位置和地质及地貌、气象与气候、水文、土壤、生物等；社会环境特征包括一般情况和经济结构等（详见表8－5）。环境背景调查与评价就是要弄清这些要素的环境背景值（也称环境本底值）及其变化和相关性，并对其与环境质量的关系作出判断。

表8－5 环境背景特征调查与评价内容

调查项目	内容
1. 自然环境特征	
（1）地理位置和地质、地貌	区域的地理位置、地层、岩性、地质构造、矿产资源和地形地貌等
（2）气象与气候	局地性大气流场、风和温度的垂直变化、大气稳定度、降水量、蒸发量、能见度、日照量和云量等
（3）水文	不同频率的丰水期和枯水期的河流水位、流速、流量、泥沙和水化学状况；湖泊水的补给来源、进出水系、蓄水量及其年内和年际变化和湖底沉积物等；水体温度状况、封冻和解冻时间；河流的河床断面、坡降和粗糙度；地下水类型及其水化学状况；海水运动状态等
（4）土壤	土壤类型、土壤剖面构型、土壤的物理特性、化学特性及其成分等
（5）生物	陆地及水域的生物种类、形态特征、生态习性及其分布情况等
2. 社会环境特征	
（1）一般情况	区域内城镇和村落的分布及其功能分区、人口密度、自然资源的综合利用情况、名胜古迹等
（2）经济结构特征	工业结构、工业布局、工业人口和产品种类等；农业结构、农业人口、农田面积作物种类等；林业、牧业和渔业等情况

2. 污染源调查与评价

通过调查、监测和分析研究，确定矿区内污染源的类型及其污染物，找出污染物的自然扩散和人为排放的方式、途径、特点和规律等，并按其对环境的影响程度筛选出矿区主要污染源和污染物。

3. 环境污染现状的，调查与评价

通过布点采样和资料收集获得环境质量信息，并根据这些信息对矿区环境质量作出定性和定量结论，进面确定煤矿环境的污染程度。

4. 环境效应分析评价

环境效应分析评价也称环境污染影响分析评价。主要包括三方面内容。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1) 生态效应分析　结合矿区生物与生态环境调查，分析和评价矿区环境污染对生物的生态变异、生理功能、产量、繁殖、生存以及生态平衡的影响和破坏，并对影响程度作出结论。

(2) 人体健康效应分析　结合矿区环境性疾病、居民健康状况、儿童发育状况等的调查，分析矿区环境污染与人体健康的相关性和因果关系，并对环境污染对人体健康的影响程度作出定性和定量判断。

(3) 经济效应分析　调查和研究煤矿环境污染及其所造成的环境质量下降带来的直接和间接损失，分析治理污染和改善矿区环境的费用和所取得的经济效益的关系，并对矿区环境污染的经济损益进行定量估算。

（三）环境质量评价方法

在煤矿区环境污染调查和监测的基础上，选定评价参数，建立评价指标体系及其计算模型，划分环境质量等级，绘制环境质量评价图。

1. 评价参数

评价参数是指进行环境质量评价时采用的对环境有主要影响的污染物（即污染因子）。一般选择排放量大、浓度高、毒性强、难于自然降解并对人体和生态系统危害大的污染物以及反映环境要素基本性质的其它因子作为评价参数，见表 8－6。

表 8－6　大气、水体、土壤质量评价参数

评价类型	评价参数	备注
大气质量评价	(1) 颗粒物　总悬浮微粒、飘尘 (2) 有害气体　二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、臭氧 (3) 有害元素　氟、汞、铅等 (4) 有机物　苯并 (a) 芘、碳氢化合物	一般多选用二氧化硫、飘尘、氮氧化物
水体质量评价	(1) 感官性状参数　味、嗅、颜色、pH 值、透明度、浑浊度、悬浮物、总固体等 (2) 氧平衡参数　溶解氧 (DO)、生化需氧量 (BOD_5)、总有机碳 (TOC)、化学耗氧量 (COD)、总耗氧量 (TOD) (3) 营养盐类参数　硝酸盐、氨盐、磷酸盐等 (4) 毒物参数　酚、氰化物、砷、汞、铬、铅、镉、有机氯等 (5) 流行病学参数　大肠杆菌等	一般选用 10 项左右，如 pH 值、悬浮物、溶解氧 (DO)、化学耗氧量 (COD) 生化需氧量 (BOD_5)、酚、氰化物、砷、汞、铬、大肠杆菌等
土壤质量评价	(1) 重金属及其它无机毒物　汞、镉、铅、锌、铜、铬、镍、砷、氟、氰化物等 (2) 有机毒物　滴滴涕、六六六、石油、酚、苯并 (a) 芘、多氯联苯等 (3) 酸度	

2. 评价指标

环境质量评价指标常以“评价指数”来表示，它是评价污染物（源）和环境质量的尺度。一般以监测结果与排放（或环境）标准比较求得。

1) 分指数

又称污染指数。它反映的是单一污染物对环境产生等效影响的程度或对环境质量的影

响程度。以污染物或污染物排放实测浓度（也可用绝对排放量，所得指数则称为等标污染负荷）与该污染物环境或排放允许浓度（称之为评价标准）的比值来表示。其计算可分为三种情况。

（1）对污染危害程度随浓度增加而提高的评价参数，分指数计算式为：

$$I_i=\frac{C_i}{C_{s,i}} \tag{8-3}$$

式中 I_i——某种污染物的污染指数；

C_i——该污染物的实测浓度；

$C_{s,i}$——该污染物的评价标准。

（2）对污染危害程度随浓度增加而降低的评价参数，分指数计算式为：

$$I_i=\frac{C_{i,\max}-C_i}{C_{i,\max}-C_{s,i}} \tag{8-4}$$

式中 $C_{i,\max}$——某污染物浓度的最大值。

（3）对有最低和最高允许限度的评价参数，分指数计算公式为：

$$I_i=\frac{C_i-\overline{C}_{s,i}}{C_{s,i}-\overline{C}_{s,i}} \tag{8-5}$$

式中 $\overline{C}_{s,i}$——某污染物评价标准最高值和最低值的平均值；

$C_{s,i}$——某污染物评价标准的最低值或最高值。

2）综合指数

综合指数表示多项污染物对环境产生的综合影响程度，它以分指数为基础，通过多种数学关系式综合求得。常用的计算方法有四种。

（1）算术平均法。计算式为：

$$p_j=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_i \tag{8-6}$$

式中 p_j——某环境要素综合指数；

n——参加评价的污染物（即评价参数）的项目数。

（2）加权平均法。计算式为：

$$p_j=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_iW_i \tag{8-7}$$

式中 W_i——某污染物的权值。

权值可根据各污染物对环境危害程度和对当地群众调查的意见确定，也可根据环境容量由下式求得：

$$W_i=\left(\frac{B_i}{C_{s,i}-B_i}\right)\Bigg/\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{B_i}{C_{s,i}-B_i}\right) \tag{8-8}$$

式中 B_i——某污染物在环境中的背景值。

（3）均方根法。计算式为：

$$p_j=\sqrt{\frac{(I_{\max})^2+\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_i\right)^2}{2}} \tag{8-9}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中　I_{max}——各污染因子的最大分指数。

(4) 几何均值法。目前使用最多。计算式为：

$$p_j=\sqrt{I_{max}\times\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_i} \tag{8-10}$$

3) 总指数

用于评价总环境质量或评价区全部污染源排放程度。它以单要素环境质量或单一污染源指数或综合指数为基础，由下式计算求得：

$$F=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}p_jW_j \quad 或 \quad F=\sum_{j=1}^{n}p_jW_j \tag{8-11}$$

式中　F——某区域的总环境质量（或总污染源排放）指数；

p_j——某要素（或某污染源）评价指数；

W_j——某要素（或某污染源）的权值；

n——参加区域环境质量（或污染源）综合评价的环境要素（或污染物）的项目数。

3. 环境质量分级分区

环境质量分级分区是按照环境质量指数大小来划分的质量优劣等级及其分布范围。等级划分时除以评价指数为主要依据外，还应充分考虑矿区的其它环境特点和环境质量标准等。一般可将环境质量划分为良好、中等、轻度污染、中等污染和严重污染等五个等级。分区则应根据矿区环境质量等级和污染源分布、功能分区等具体情况确定。

4. 环境质量评价图

环境质量评价图指用以表达环境质量评价结果及其与环境质量有关的环境背景特征、污染源与污染物、环境质量状况、环境污染的空间分布特征、数量和质量指标等的图件。它具有形象、直观、清晰、易对比等优点。常用的有污染物浓度等值线图、环境质量指数图、环境质量分区图等。

第四节　煤矿环境地质工作

煤矿环境地质工作是煤矿环境保护工作的基础和重要组成部分，其中心任务是调查和研究与煤矿环境质量及其控制有关的地质条件及其变化，为煤矿环境保护、环境规划、环境治理提供所需的地质资料。由于不同煤矿存在的环境问题不同，对煤矿环境地质工作的要求和工作内容、工作方法都不尽相同。一般情况下，煤矿环境地质工作主要有以下四个方面。

一、矿区环境污染的地质调查

(一) 矿区原始地质环境调查

调查了解矿区地理和大地构造位置、地层及其岩石组成、地质构造、矿产资源以及地形地貌等基本地质背景；对矿区内的原生岩石、风化岩石、土壤以及矿区内的地表水体（如河、湖、池塘等）和地下水体（如井、泉、钻孔和矿井充水等）进行全面系统采样、化验、分析；查明矿区岩石、水体的组成以及其中有害物质的种类、含量等；弄清与原始地质环境有关的污染源（物）和与环境污染扩散有关的地质和水文地质条件；研究各种元素

的赋存、分布、迁移、浓集、扩散、流失等的规律；对矿区原始环境质量的地质条件作出评价。为控制矿区总环境污染提供基本的地质资料。

（二）矿区水土污染地质调查

在原始地质环境调查的基础上，进一步查清煤矸石的矿物组成和化学成分及其含量以及某些物理化学性质、矸石山堆放场地的地形地貌及水文地质和工程地质条件；定期监测矿区土壤的化学成分和物理化学性质及其变化；定期观测矿井、选煤厂、矸石山等排放的废水的流量、化学成分及其变化情况，并结合矿区地形地貌、地质和水文条件对矿区流动水与非流动水、地下水与地表水、污染水与非污染水的化学成分、物理化学性质进行对比，确定污染水体的扩散途径、影响范围、影响程度等。在此基础上，将水质分析与岩土分析结果及岩石风化及风化过程中元素流失、富集等进行比较分析，以查明土壤污染和土壤化学元素迁移规律等与水体污染和运动的关系，为控制水土污染提供地质依据。

（三）煤矿区大气污染地质调查

1．有害粉尘地质调查

配合通风安全部门，在巷道、工作面和选煤厂破碎车间等地点收集粉尘样品，通过化学分析和岩矿鉴定以及与煤层及其围岩的矿物成分、岩石类型的对比，找出粉尘与原岩成分及其含量的关系，查明有害粉尘的种类、来源、数量等，为采取防尘、降尘措施提供依据。粉尘的镜下鉴定主要包括以下内容：

（1）矿物成分。粉尘的矿物成分不同，危害类型和程度各异。

（2）粉尘粒度。能进入肺部的粉尘均小于 $5\mu m$。其中 $1\sim2\mu m$ 的粉尘危害最大。

（3）粉尘形态。浑圆状尘粒比棱角状尘粒危害小。

2．有害气体的地质调查

煤矿区有害气体主要来源于厂矿排放、地下逸散、煤与矸石堆自燃等。调查时要求查明有害气体的来源、成分、含量、产气情况、逸出地点、迁移途径等，并就其对环境的影响作出评价。为了查明地下逸出的有害气体，还必须深入调查矿区岩层的物质成分、结构构造、氧化分解条件以及与有害气体扩散有关的地质构造特征和分布规律等。

（四）其它环境问题的地质调查

1．地质灾害调查

对矿区内的各种地质灾害，尤其是采动影响、煤矸石堆放等所引起的地面沉陷、滑坡、崩塌、泥石流、沙漠化等进行全面调查，研究其形成条件、成因类型、分布和影响范围、危害程度等。对急性灾害应实施连续监测并进行预测、预报。

2．矿井热污染调查

在区域地温场调查的基础上，查明矿区地温场的变化规律及其影响因素，分析矿井热污染的成因、变化特征、危害程度以及与地温场的关系等。

3．煤层及矸石堆自燃监测研究

对有自燃倾向或已经自燃的煤层及矸石山应加强日常监测，研究自燃的影响因素，发火条件、氧化和增温规律以及自燃机理等。

4．地方性疾病调查

地方性疾病均与环境有关。应配合卫生等有关部门，在矿区及其附近的一定范围内，随着煤矿建设生产的进展，分期调查地方性疾病的种类、病因、影响程度和范围，确定地方

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

性疾病与环境地质条件和环境污染的关系。对第二环境性疾病，应进一步查明致病元素的迁移途径、累积方式及其变化规律。

二、矿区环境污染治理效果的地质调查

对于已采取防治措施的环境问题，应与环保部门配合，对环保措施实施效果进行地质调查与评价，从而为修改和补充原有措施或重新制订更加有效的措施提供依据。如对净化处理后的矿井和选煤厂排放水的水质及有害物质的种类及其含量等应进行定期检测；对采取复垦措施的土地应定期测定其潜水位的变化、土壤中有害元素的种类及其含量的变化，以及土壤的结构、理化性质等的变化，检查有害元素是否有随潜水位升高或毛细管作用而返至地表的现象等；对采取防尘、降尘措施的工作面应定期测定其空气粉尘浓度、形态和粒度分布及其有害粉尘的含量；对采取充填措施的采空区沉陷幅度、应力场的变化、岩层变形特点以及对地表的影响程度等应进行调查评价。通过治理前后地质调查资料的对比分析，对治理措施的有效性作出判断，并得出结论。

三、煤矿环境污染源资源化利用地质评价

煤矿生产过程中所产生的大量废弃物（如矿井瓦斯、煤矸石、矿井水等），既是导致矿区环境污染的主要污染源，又是宝贵的自然资源。加强对其的资源化利用，不仅有助于从根本上消除其对环境的危害，同时还可获得方便、廉价的资源，提高煤矿生产的综合效益。

1. 矿井水资源化利用评价

评价内容包括：矿井水的来源；矿井充水和矿井排水的水量、水温、水质类型；色、嗅、味、浊度等感观特征；pH 值、含盐量、总硬度等化学特征；生化需氧量、化学耗氧量、溶解氧等生化特征；有毒有害元素和细菌的种类、含量等毒理性和毒害性特征，以及矿井水的利用方向、利用条件和环境效应等。

2. 煤矸石资源化利用评价

评价内容包括煤矸石的种类、排放和堆积量、矿物成分、化学组成、理化性质、工艺性质、发热量、有用成分的种类及其含量、分选的难易程度以及煤矸石的利用途径、利用方法和环境经济效应等。

3. 矿井瓦斯资源化利用评价

评价内容包括煤层瓦斯含量、压力、成分、赋存和分布规律，矿井瓦斯涌出量、涌出特征，瓦斯来源、瓦斯储量、可抽瓦斯量以及影响瓦斯抽放的各类地质条件及其改良方法等，并就瓦斯抽放方案、利用方式、规模和服务年限、经济技术的合理性和效益等提出建议和预测。

4. 地表移动区资源化利用评价

评价内容包括地表移动区的分布、规模、沉陷幅度、采动稳定性、新应力场分布、地质和工程地质条件、地表变形特征、积水情况、地下水和地表水的水文和水文地质条件、水土流失和土壤肥力状况、土地复垦条件、复垦类型、复垦方案以及复垦的生态效应、经济效益等。

四、矿区环境地质图件编制

（一）污染源分布图

由于不同类型污染物对环境污染的情况不同，同一污染物在不同环境中，其迁移、扩散和累积变化受环境因素控制，并与不同的介质之间发生复杂的生物化学和物理化学反应，

产生新的污染物或叠加新的物质污染，从而构成了一个由污染源、扩散范围、叠加物质、污染边界等组成的污染环境单元。污染源分布图即是以矿区地形地质图（或总平面图）为底图，反映各环境单元污染特征的图件。它可按引起污染的原因分为自然污染源分布图（图8—1）和开发污染源分布图（图8—2）。如果将污染源及污染环境单元分类表示，即构成了污染类型图（图8—3）。

（二）环境质量评价图

环境质量评价图以矿区地形地质图为底图，反映环境质量评价参数变化、环境背景（包括地质背景）、环境质量评价结果的图件。可分为单项环境质量评价图和综合环境质量评价图。一般先划分评价基本单元，按单元再以等值线表示评价指标的变化情况，进而结合不良地质体和灾害地质条件等确定各个单元的环境质量等级，并进行环境质量分区。

（三）污染程度图

污染程度图用以反映污染物的种类、污染浓度变化值，监测样品的最大、最小、平均值及超标率，有害元素与其它相关元素及其化合物的含量、生物毒理试验指标、特殊疾病发病率和死亡率的相关关系，有害物质浓度和污染程度与季节、雨量、气候条件以及地质和水文地质条件变化等的关系。可用等值线、变化曲线（图8—4）、相关曲线、直方图等表示。

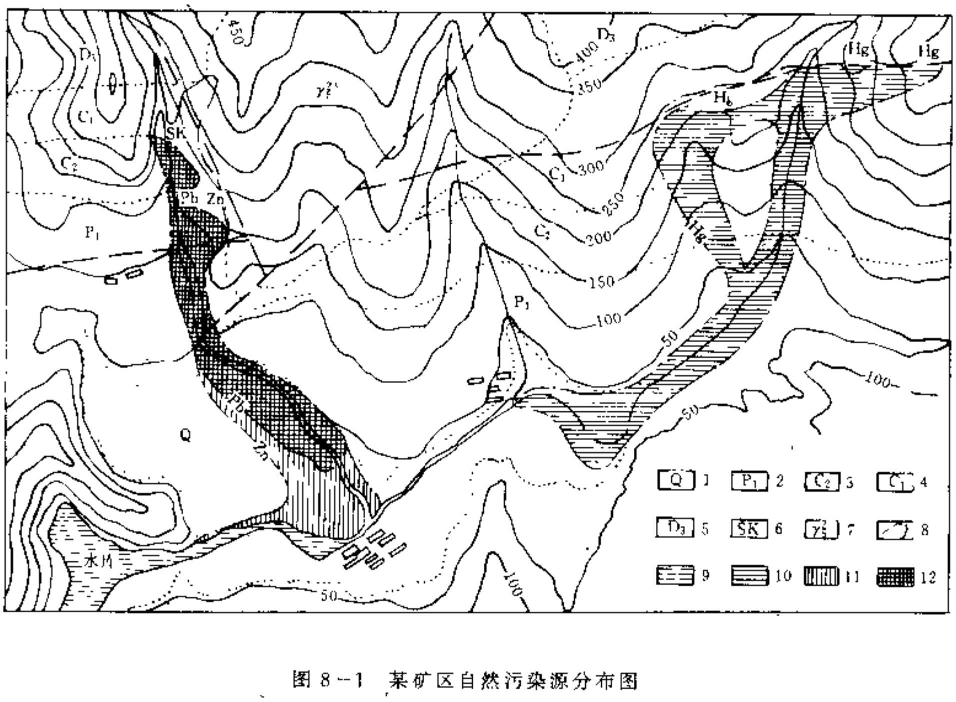


图8—1 某矿区自然污染源分布图

1—第四系；2—乐平煤组；3—船山组；4—黄龙组；5—上泥盆统石英砂岩；6—卡岩；7—燕山期花岗岩；8—污染区；9—水库；10—汞污染扩散范围；11—锌污染扩散范围；12—铅污染扩散范围

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

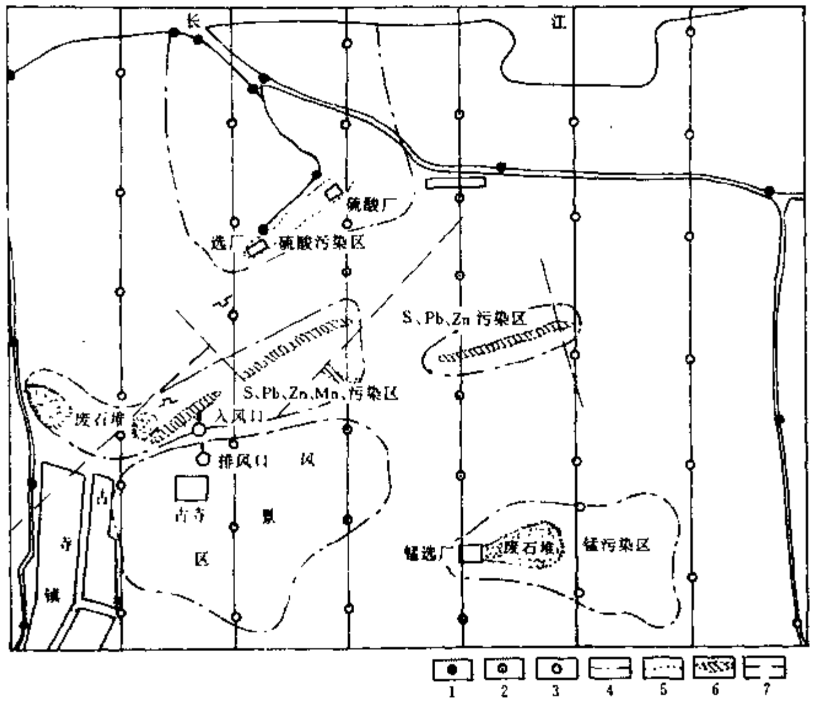


图 8—2 某矿区开发污染源分布图

1—河流监测点；2—地下水监测点；3—土壤监测点；4—环境单元界限；5—污染源界限；6—矿体；7—断层

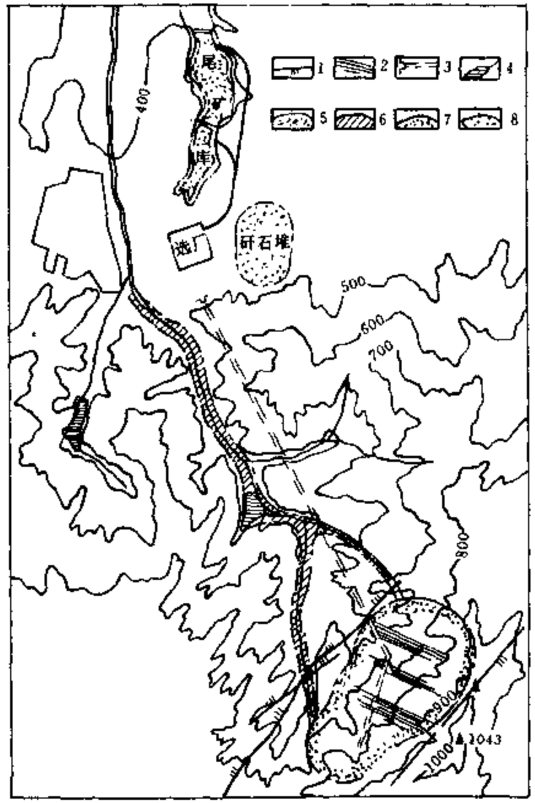


图 8—3 某矿区污染类型图

1—断层；2—矿脉；3—主平巷；4—水系；5—矿床污染；6—离子型液态污染；7—尾矿污染；8—矸石污染

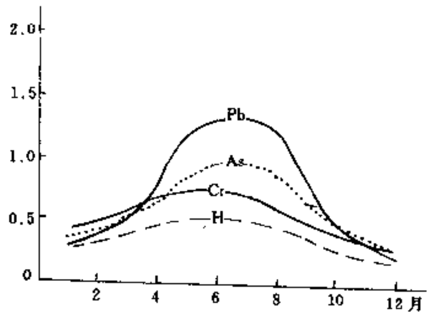


图 8－4 某矿区河流 Pb、As、Cr、Hg
污染年变化曲线

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第九章 地 质 勘 探

地质勘探是运用地质科学和技术来分析、研究、探测煤矿床。其目的是为煤矿设计、建设和生产提供可靠的地质资料，保证煤炭资源合理、顺利开发。其主要任务是运用各种地质理论、选择相应的技术手段和工作方法，查明地层、地质构造、煤层、煤质、储量及开采技术条件等因素，正确评价煤矿床及与含煤岩系伴生和共生的其它有益矿产。

第一节 地质勘探技术手段

煤田普查与勘探及煤矿地质勘探的技术手段主要有：遥感地质调查、地质填图、坑探工程、钻探工程、地球物理勘探等。

一、遥感地质调查

遥感是遥远感知的意思，"遥"具有空间概念；"感"表示信息系统。即在遥远的空间，不与目标物直接接触，而通过信息系统去获得有关该目标物的信息。

探测目标物主要是通过探测目标物的电磁辐射来获得目标物的信息。其方式基本上有两种：一是依靠人工电磁辐射源，向目标物发射一定能量的电磁波，然后接收从目标物反射回来的电磁波，并根据反射电磁波的特征信息识别目标物，称为主动遥感，如用微波雷达探测；二是使用探测仪器被动地接收、记录目标物本身所发射或反射来自辐射源（如太阳）的电磁波，然后根据其信息特征识别目标物，称为被动遥感。目前比较常用的遥感技术手段有：摄影遥感、多光谱遥感、红外遥感、雷达遥感、激光遥感、全息摄影遥感等。

遥感技术在地质调查过程中的具体应用就是对像片的判读。其中，可见光航空像片（简称航片）和多光谱卫星像片（简称卫片）的判读，是进行地质填图、地质构造解释、找矿标志判别及动态分析的有效的技术手段。在煤田勘探地质填图时，一般采用航片而不用卫片进行地质解释，因为航片适合大比例尺填图。原地质部在黑龙江、四川、云南等省的实践表明，按常规方法填制一幅 1∶20 万地质图（面积为 6 000～7 000km^2），一般地区需要 50 人左右，2～3a 完成，投资 20～25 万元；高山区需要 70 人左右，4～5a 完成，投资 50～70 万元。而使用航片后，一般地区需要 30～40 人，一年左右可完成，投资 10～15万元；高山区需要 40～50 人，2～3a 可完成，投资 30～50 万元。相比之下，使用航片比用常规方法效率提高 1～2 倍，人员减少 10%～20%，投资降低 50%。

二、地质填图

地质填图又称地质测量，是勘探中的基础工作，也是最基本的技术手段。它是应用地质学的理论和方法，有目的地在含煤地区进行全面的地表地质研究，即对天然露头（没有被浮土掩盖的岩层、煤层、断层等）和人工露头（用人工揭露出来的岩层、煤层、断层等）进行测量和描述，并把获得的所有地质信息填绘在地形图上，编制成地形地质图、地质剖面图，地层综合柱状图等图件，作为今后地质工作的重要依据。

地质填图在煤田地质勘探的各个阶段中都要进行，但各阶段的要求、研究程度及地质条件不同，相应地质填图的比例尺也有差异。一般要求精度越高，研究程度越深，其图件的比例尺越大。

三、坑探工程

坑探工程是在覆盖层较薄的地区，用人工方法为地质测量揭露岩层、煤层及地质构造等地质现象，或为了采集煤样所设计的一些专门工程。

（一）探槽

在表土较薄（一般小于3m），岩层倾角较陡或较平缓，地形切割比较强烈，表土稳定坚实且含水不多的地段，垂直岩层走向或构造线方向挖掘的一条槽沟，称为探槽（图9—1）。利用槽沟可以直接测量和描述所揭露的地质现象，据此可以绘制剖面图及其它图件。探槽是坑探工程中使用最普遍的技术手段，它常配合地质填图使用。



图9—1　探槽布置示意图

（二）探井

当表土厚度大于3m、小于20m时，不适合挖掘槽沟，就采用从地面垂直挖掘探井的方法，来揭露一般地层倾角比较平缓地区的岩层、煤层及其它地质现象（图9—2）。探井工程比探槽难度大，应尽量少布置，一般沿岩层走向布置，配合探槽和地质填图使用。

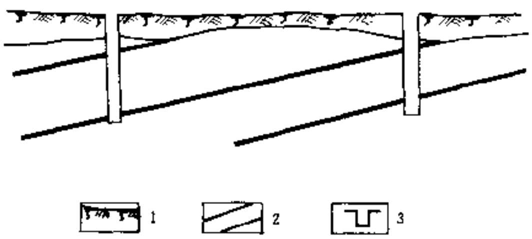


图9-2　探井布置示意图

1—表土；2—含煤地层；3—探井

（三）探巷（硐）

有时为了揭露煤系，了解煤层厚度和结构，确定煤层风氧化带的深度，并在风氧化带下采集煤样，直接从地面挖掘井硐，称为探巷（硐）。探巷根据需要可垂直或平行煤层走向掘进，可为立井、斜井、平巷或石门（图9—3）。

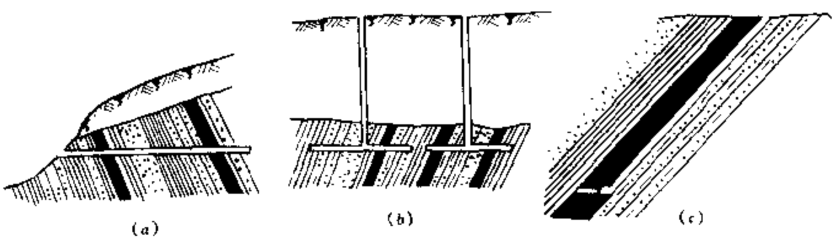


图9—3　探巷（硐）布置示意图

(a) 平巷（硐）；(b) 立井与石门；(c) 斜井

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

四、钻探工程

钻探是利用机械传动钻杆和钻头，从地面向地下钻直径小而深的圆孔，称为钻孔（图9—4）。一般在煤田勘探中采用的钻机有可达300m、500m、650m及1000m的型号。钻探过程中一边钻进，一边选择层位提取岩心，对岩心进行测量和描述，获得地质信息，然后绘制原始钻孔柱状图（图9—5）。钻孔到达目标深度并提取岩心后，按规定必须对钻孔进行地球物理测井，最后对钻孔进行技术上封闭，以免给以后煤矿生产带来突水等隐患。

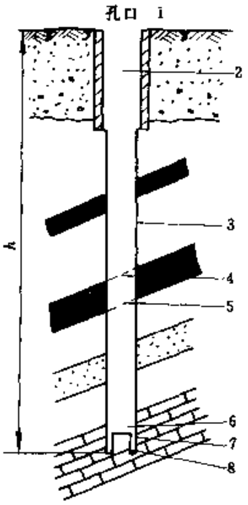


图9—4 钻孔示意图

1—套管；2—开孔直径；3—孔壁；4—见煤深度；5—止煤深度；6—岩心；7—终孔直径；8—孔底；h—钻孔深度

柱状 1：300	层号	层厚 (m)	累计 (m)	岩石名称
	1	2.12		石灰岩
	2	0.30	2.42	15煤层
	3	4.96	7.38	页岩
	4	0.03	7.41	16煤层
	5	1.10	8.51	页岩
	6	0.80	9.31	17煤层
	7	2.65	11.96	砂质页岩
	8	0.60	12.56	18煤层
	9	9.75	22.31	砂岩、页岩互层
	10	4.92	27.23	砂质页岩
	11	3.26	30.49	石灰岩
	12	0.80	31.29	20煤层
	13	3.10	34.39	砂质页岩

图9—5 钻孔柱状图

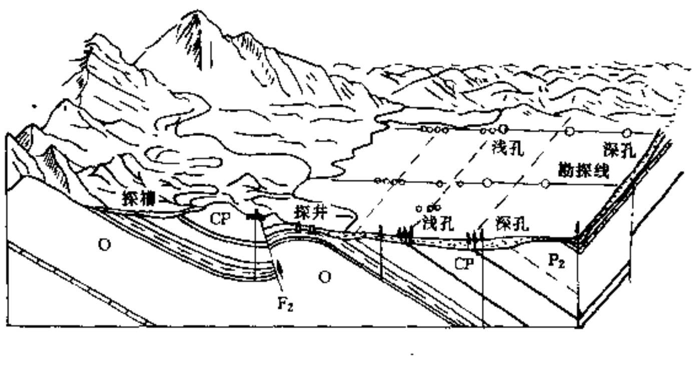


图9-6 钻孔网络布置示意图

钻探工程由地表往地下钻进一系列钻孔，这些钻孔都是呈网络布置的（图 9—6)。在网络中垂直岩层走向方向由若干钻孔连成的线称为勘探线。用勘探线上的钻孔柱状绘制勘探线剖面图，然后据此再编制其它的地质平面图，以了解和掌握煤层在地下的赋存状态。

钻探工程是最重要最常用的技术手段。它能适用于任何地区，尤其是在表土覆盖很厚的地区，可能成为探测深部岩层、煤层唯一的重要手段。钻探工程不仅在煤田勘探各个阶段都得使用，而且在矿井建设和生产时期也常使用。钻探工程有时也可布置在井下巷道中（图 9—7)，称其为坑道钻探。

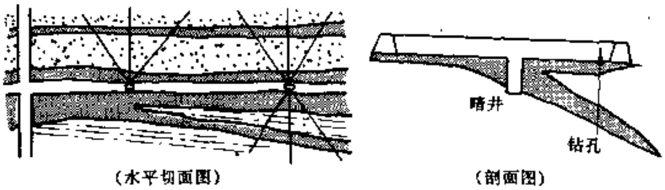


图 9—7　井下钻探示意图

五、巷探工程

有时也运用矿井中的巷道来探测地质现象，称之为巷探，它是矿井地质工作中常用的勘探技术手段。一般无钻探条件，或钻探达不到预期效果，而且生产又需要时则采用巷探。巷探工程有专门布置的巷道，如图 9—8 所示，专门延长运输巷和布置几个短探巷，其目的就是为了探测 F_{16}断层的位置，以便顺断煤交线布置切眼。也有采用一巷多用的方法，如图 9—9 所示，每隔一定距离布置阶段石门，这些石门的挖掘既提前获得了所需的地质资料，又是以后生产上必需的巷道。

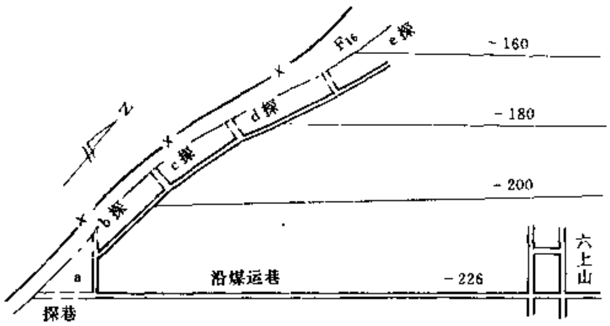


图 9- 8　专门布置巷道进行探测

巷探工程最大的优点是可以直接观测地质现象、量取地质数据、采集样品，而且可以“一巷多用”。施工中专门的探巷一般都采取小断面简易支护的方式，以便减少费用。

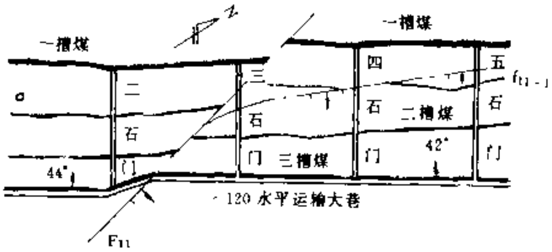


图 9--9　采用“一巷多用”进行探测

六、地球物理勘探技术

地球物理勘探简称物探，是利用具有不同物理性质（如密度、磁性、电性、弹性波传播速度、放射性等）的岩层和矿床对地球物理场所产生的异常，来寻找煤矿床、圈定含煤地层、推断地质构造及解决其它地质问题的一种技术手段。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

目前，在煤田普查与勘探及矿井地质勘探中应用的物探手段主要有重力勘探、磁法勘探、电法勘探、地震勘探等。

第二节 煤田地质勘探

煤田地质勘探又称煤炭资源地质勘探，是寻找和查明煤炭资源的地质工作。其目的是寻找煤矿床、圈定煤炭储量，为煤矿设计、建设提供科学依据。

一、煤田地质勘探阶段

又称煤田地质勘探程序。煤田地质勘探工作的整个过程就是对煤田从大范围的概略了解到小面积的详细研究的过程。对客观地质规律的认识有一定的阶段性，按照这种逐步认识的过程，以及与煤炭工业基本建设各阶段相适应的原则，将煤田地质勘探的程序划分为找煤（初步普查）、普查（详细普查）、详查（初步勘探）、精查（详细勘探）四个阶段。各阶段必须完成其相应的主要任务（表 9－1）。各阶段必须对各种地质因素的了解、研究、掌握达到一定程度（表 9－2）。各阶段工作完成后，必须提交相应的地质报告。显然，详查地质报告尤其是精查地质报告是矿井设计的依据。

表 9－1　煤田地质勘探各阶段的主要任务

勘探阶段划分	主要任务
找煤（初步普查）	寻找煤炭资源，即查明找煤区是否有煤系地层存在，确定含煤组的地层位置，并对区域的含煤情况作出有无进一步工作价值的评价。如有价值还应确定最宜于作普查（详细普查）的地区
普查（详细普查）	对工作地区含煤情况做初步研究，寻找有工业价值的含煤区。勘探结果应对煤田有无开发建设的价值作出评价，为煤炭工业的远景规划和下一阶段的勘探工作，提供必要的资料
详查（初步勘探）	为矿区总体设计提供地质资料，其勘探成果要保证矿区规模、井田划分不致因地质情况而发生原则性重大变化，对影响矿区开发的水文地质条件和其他开采技术条件作出评价
精查（详细勘探）	为矿井设计提供可靠地质资料，即满足设计部门选择井筒，确定水平运输巷、总回风巷的位置和划分初期采区的需要，保证井田境界和矿井井型不致因地质情况而发生重大变化；保证不致因煤质资料而影响煤的既定工业用途

表 9－2　煤田地质勘探各阶段工作程度要求

地质因素＼勘探阶段	找煤（初步普查）	普查（详细普查）	详查（初步勘探）	精查（详细勘探）
煤系	初步了解煤田的地质时代和含煤地层的可能分布范围	确定含煤地层时代，详细划分各含煤层组	初步查明可采煤层的层数，层位、厚度、结构和可采范围，控制主采煤层的露头位置	查明可采煤层的层数、层位、煤层对比清楚

续表

地质因素＼勘探阶段	找煤（初步普查）	普查（详细普查）	详查（初步勘探）	精查（详细勘探）
煤层	概略了解煤层层数、厚度和埋藏深度	详细了解可采煤层的层数、层位、厚度、结构和分布范围	了解煤层变化的地质原因和影响范围	查明煤层厚度、结构、变化范围及其稳定程度； 确定主要煤层露头位置，控制其摆动范围； 详细了解和适当控制第一水平内煤层变化的地质因素和范围，确定先期开采的局部可采煤层，并作加密控制
煤质	概略了解煤质和煤的种类	初步确定主要煤层煤的种类和煤质特征	初步查明可采煤层的煤质特征及其变化；确定煤的种类，初步划出它们的分布范围；了解煤的工艺性能，评价煤的工业利用方向； 初步确定风化带界线； 了解煤矸石的质量	查明可采煤层的煤质特征，评价主采煤层煤的工艺性能和工业用途，划出煤种分界线和风、氧化带界线，查明煤质变化的原因； 了解煤矸石的质量及其变化情况
构造	初步了解煤田的基本构造形态和地层层序	查明地层层序和煤田基本构造形态 控制可能影响矿区划分的主要构造	基本查明煤层的产状，控制足以影响井田划分的主要构造及其复杂程度； 初步查明岩浆岩种类、产状和分布范围	查明井田边界断层或褶曲轴在平面上的位置，其摆动范围要控制在250m以内； 查出第一水平内落差大于30m的断层，查明初期采区内落差大于20m的断层； 查明煤层产状，控制第一水平底板等高线变化急剧处，当煤层倾角小于10°时，要控制初期采区内较大的波状起伏； 基本查明岩浆岩种类、产状及其在第一水平内的分布范围
水文地质条件	初步了解水文地质情况	了解区内各含水层、隔水层性质与特征； 了解主要含水层的富水性，地下水的补给排泄条件等； 指出供水水源勘探方向	初步查明含（隔）水层的岩性、厚度、埋藏条件及分布，直接含水层的水位、水质、富水性等； 初步查明各含水层间，地表水与地下水之间的水力联系，对供水水源作出初步评价； 详细了解断裂带的水文地质特征； 调查了解老窑生产井分布及开采，涌水量与水质情况，初步划出老采空区	全面查清和评价井田水文地质条件，重点主要查清初采区和井田第一水平含水层和矿井充水有影响的断层的含水性，隔水层的隔水条件及各含水层间，地表水与地下水之间的水力联系，预计第一水平的矿井涌水量； 进行水源勘探，评价井田供水条件； 进一步控制老采区边界，并了解其积水情况
开采技术条件		初步了解区内地温状况	初步查明矿区恒温带的深度、温度、平均地温梯度及其变化； 初步了解主要可采煤层顶底板工程地质特征，煤层瓦斯成分和含量	查明矿井地温情况，在有高温地区，应查明一、二级高温区分布范围； 详细了解各主采煤层顶、底板工程地质特征，进一步了解煤层的瓦斯成分，含量及分布情况，煤的自然趋势和煤尘爆炸危险性

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

勘探阶段 地质因素	找　煤 （初步普查）	普　查 （详细普查）	详　查 （初步勘探）	精　查 （详细勘探）
其它有益矿　产	初步了解其它有益矿产情况	了解其它有益矿产的赋存情况	初步评价有益矿产有无工业价值	进一步了解有工业价值的其他有益矿产的品位，厚度及分布范围，并作出远景评价
储　量	提出D级储量	提交C+D级储量，C级一般不少20%～30%	提交B+C+D级储量，其中B+C级储量不少于70%，B级储量一般为20%～30%，主要分布在浅部	提交A+B+C级储量，一般A+B级储量应分布在初期采区或第一水平

现以某煤田为例（图9—10），说明地质勘探程序，其地质勘探顺序大体是这样的：首先对整个煤田范围进行比例尺为1：5万的普查勘探；普查后将煤田划分为若干矿区（如红卫矿区、向阳矿区）；然后选择红卫矿区进行1：1万的矿区详查勘探；详查后又将红卫矿区划分为若干井田；最后对各井田（如四井田）进行1：5000的井田精查勘探。经过精查勘探所获得的地质资料，就可以作为煤矿设计和建井的依据。

二、煤田地质勘探类型

按照煤炭资源勘探程序，一般进行了找煤、普查后，就进入矿区详查、井田精查阶段。根据我国煤炭工业建设的布局和发展规划的需要，在保证重点、兼顾一般，以及先富后贫、先近后远、先浅后深、先易后难的原则下，在对煤田地质情况有了初步了解的基础上，必须慎重地选择勘探区。在勘探区内，根据对煤矿床的地质研究和以往勘探经验的总结，依据影响煤矿床勘探难易程度的主要地质因素，对勘探区（矿区或井田）进行的分类，称为勘探类型。划分勘探类型的目的，是为了更好地运用地质规律，指导煤田地质勘探实践，合理选择勘探手段，合理布置勘探工程，确定勘探程度，预算勘探成本，经济地查明地质情况和开采技术条件，获得各级煤炭储量，为煤矿设计和生产建设提供必须的地质资料。

1986年12月经全国储量委员会审核批准，正式颁布施行我国煤矿勘探类型。现行的《煤炭资源地质勘探规范》（1986）中，将地质构造和煤层分别划分类型。

（一）地质构造复杂程度类别

依据地质构造形态、断层和褶曲的发育情况，以及受火成岩影响程度井田（勘探区）的地质构造复杂程度划分为四类。

1. 简单构造

区内含煤地层沿走向、倾向的产状变化不大，断层稀少，没有或很少受火成岩的影响。主要包括

（1）煤（岩）层倾角接近水平，很少有缓波状起伏；

（2）呈现缓倾斜至倾斜的简单单斜、向斜或背斜构造；

（3）只有为数不多和方向单一的宽缓褶皱。

2. 中等构造

区内含煤地层沿走向和倾向的产状有一定变化，断层较发育，有时局部受火成岩的一定影响。主要包括：

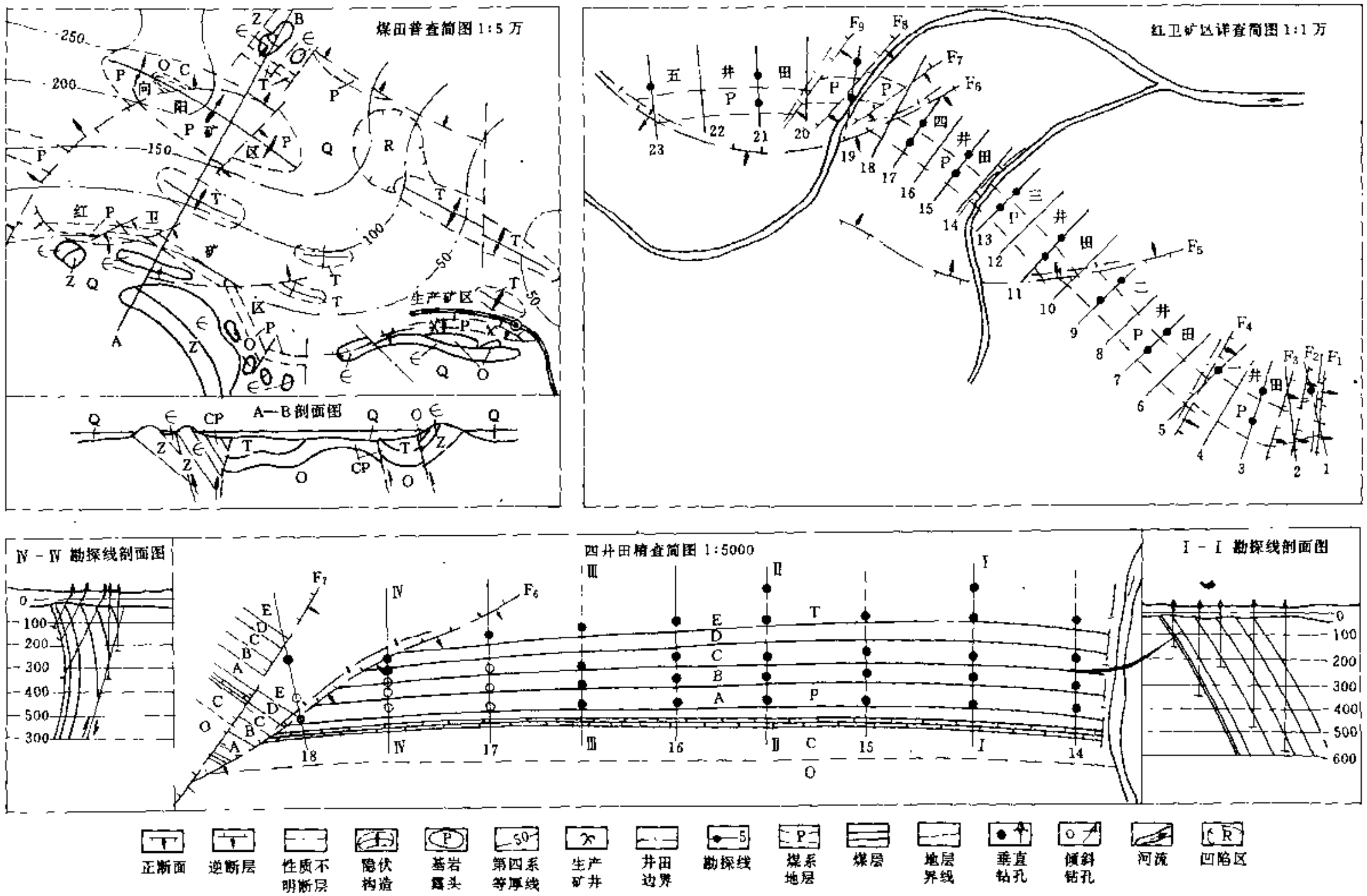


图 9—10　普查、详查与精查之间的关系示意图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1) 煤（岩）层倾角平缓，沿走向和倾向均发育宽缓褶皱，或伴有一定数量的断层；

(2) 发育有简单的单斜、向斜或背斜，伴有较多断层，或局部有小规模的褶曲或地层倒转；

(3) 发育急倾斜或倒转的单斜、向斜或背斜构造，或为形态简单的褶皱，伴有稀少断层。

3. 复杂构造

区内含煤地层沿走向、倾向的产状变化很大，断层发育，有时受火成岩的严重影响。主要包括：

(1) 受几组断层严重破坏的断块构造；

(2) 在单斜、向斜或背斜的基础上，次一级褶曲和断层均很发育；

(3) 为紧密褶皱，伴有一定数量的断层。

4. 极复杂构造

区内含煤地层的产状变化极大，断层极发育，有时受火成岩的严重破坏。主要包括：

(1) 紧密褶皱，断层密集；

(2) 为形态复杂特殊的褶皱，断层发育；

(3) 断层发育，受火成岩的严重破坏。

(二) 煤层稳定程度型别

依据煤层结构、厚度及其变化、可采情况，将矿区（或井田）的煤层稳定程度划分为稳定煤层、较稳定煤层、不稳定煤层、极不稳定煤层四型（划分标准详见第六章第一节）。

《煤炭资源地质勘探规范》针对上述不同构造类别和不同煤层型别，规定了探测各级煤炭储量相应的钻探工程基本线距（表 9—3、表 9—4）。

表 9—3 构造类别钻探工程基本线距

构造复杂程度	可能满足各级储量对构造控制要求的基本线距（m）		
	A 级	B 级	C 级
第一类 简单	750～1000	1500～2000	3000～4000
第二类 中等	375～500	750～1000	1500～2000
第三类 复杂		250～375	250～500

表 9—4 煤层型别钻探工程基本线距

煤层稳定程度	可能满足各级储量对煤层控制要求的基本线距（m）		
	A 级	B 级	C 级
第一型 稳 定	750～1000	1500～2000	3000～4000
第二型 较稳定	375～500	750～1000	1500～2000
第三型 不稳定	250*	500*	1000*
		250	250～500

注：1. * 只适用于第三型中的第一种情况。

2. 第四类和第四型的线距不作具体规定。

三、储量级别和储量分类

（一）储量级别

储量级别是统一区分和衡量矿产储量精度或可靠程度的等级标准。煤田地质勘探工作各个阶段，以不同的地质研究程度查明地下煤炭储量。现行的规范中，把储量由高到低划分为A级、B级、C级、D级四个级别，其中A级和B级为高级储量，C级和D级为低级储量。

1. A级储量

在精查勘探阶段，通过较密的勘探工程的控制和详细的地质研究（用钻孔或巷道等工程，在A级储量所要求的勘探线距内）圈定的储量叫A级储量。它是煤矿企业编制生产计划及煤矿建设和投资的依据。

2. B级储量

在详查、精查勘探阶段，通过系统的勘探工程控制和较详细的地质研究（用钻孔或巷道等工程，在B级储量所要求的线距内）圈定的储量，或者由A级储量块段外推的储量叫B级储量。它配合A级储量也是煤矿建设设计和投资的依据。

3. C级储量

在普查、详查、精查各阶段，通过一定的勘探工程的控制（用足够的钻孔在C级储量所要求的线距内）和一定的地质研究圈定的储量，或者由B级储量块段外推的储量叫C级储量。它配合A级和B级储量可作为大、中型矿井确定设计能力的依据，也可作为小型矿井建设设计和投资的依据。

4. D级储量

在找煤、普查、详查阶段，通过地质填图或少量勘探工程揭露，并经物探及有关的地质资料证实的储量叫D级储量。它一般作为煤矿远景规划或地质勘探设计的依据。有时也可配合C级储量作为小型矿井设计的依据。

按规范，各级储量要达到一定的要求（见表9—5）。同时地质勘探各个阶段应获得相应的各级储量（见表9—2），由找煤报告提交，经储量审批机关批准的储量叫远景储量，可供作煤炭远景规划的依据。由普查报告提交，经储量审批机关批准的储量叫普查储量。由详查报告提交，经储量审批机关批准的储量叫详查储量。由精查报告提交，经储量审批机关批准的储量叫精查储量。

（二）储量分类

按对煤炭资源的研究程度、目前煤矿开采技术条件和可利用程度，将储量划分如下：

- 地质储量（生产矿井总储量）
  - 能利用储量
    - 远景储量
    - 工业储量
      - 可采储量
      - 设计损失量
  - 暂不能利用储量

1. 地质储量

在井田技术边界范围内，经地质勘探和调查查明的符合国家能源政策规定的煤炭资源标准的储量，亦称生产矿井总储量。

2. 能利用储量

是地质储量中按照合理利用地下资源和保护环境及符合工业指标的要求，在现有的或已掌握的先进技术条件下，可以经济合理地利用的那部分储量。以前称为平衡表内储量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 9--5 各级储量对各种条件应查明的程度

查明的条件	查明程度			
	A级	B级	C级	D级
煤层层位厚度结构及其变化情况	已经查明	已基本查明	已初步查明	煤层层位、厚度、煤质、煤层产状、构造均有初步了解
煤层对比	可靠	基本可靠	基本可靠	
煤质及其变化情况	已经查明	已基本查明	已初步查明	
煤种	已经清楚	基本查明		
煤层产状、地质构造	产状已经查明，底板等高线已控制，较大的褶皱和落差大于 30m 断层已经查明	产状已经查明，底板等高线已基本控制，落差大于 50m 的断层已经查明	构造及产状已初步查明	
主要含水层的厚度、结构、水头压力、含水系数．主要隔水层赋存特性以及矿井涌水条件、补给关系等	已初步查明	已初步查明	已做初步研究	
火成岩、陷落柱、冲刷带、烧变区等的范围、性质及其对煤层性质的影响	已经查明	已初步查明		
煤层顶底板特征及开采技术条件	已了解清楚	已初步了解		

3. 暂不能利用储量

是地质储量中由于煤层厚度小、灰分高（或发热量低）、水文地质条件及其它开采技术条件特别复杂等原因，目前开采有困难，暂时不能利用的储量。以前称为平衡表外储量。

4. 工业储量

能利用储量中 A、B、C 级储量之和。可作为矿井设计和投资的依据。

5. 远景储量

能利用储量中的 D 级储量，由于研究程度不够，有待于进一步勘探提高储量级别，只能作为地质勘探设计和矿区发展远景规划的依据。

6. 可采储量

（此处略，见第十一章）

7. 设计损失储量

（此处略，见第十一章）

8. 探明储量和保有储量

根据煤炭储量动态统计分析的需要，煤炭储量又可分为探明储量和保有储量。

探明储量　煤田地质勘探报告提交、经储量审批机关批准的能利用储量。它是反映煤田地质勘探工作成果的主要指标。

保有储量　截至统计报告期止，煤田、矿区、井田内实际拥有的探明储量。它反映煤炭资源的现状。保有储量应这样计算：

$$保有储量=\frac{累计探}{明储量}\pm\frac{核算储量}{增(减)数}-开采量-损失量-\frac{其它原因}{储量减少量}$$

四、煤田地质勘探程度

煤田地质勘探各阶段对不同类型地质条件的勘探区进行工作后，最终要达到一定的要求，这个“要求”就是勘探程度。所谓勘探程度就是指通过各种技术手段，对勘探区内的地质情况的了解程度和对地质变化规律的控制、查明程度。

前述的煤田地质勘探分为四个阶段，各个阶段都有一定的任务、规范和要求，这些任务、规范和要求就表达了一定的勘探程度。一般说来，由普查到详查，再到精查，勘探程度不断提高。勘探程度的高低，往往通过区内布置施工的勘探网距来实现的。如图 9－11 所示，同一区域，当布置 2 条勘探线 4 个钻孔时（图 9－11*a*），对地质情况的了解和查明程度肯定不如布置 3 条勘探线 6 个钻孔时（图 9－11*b*）的程度高。但是，也不能盲目地把勘探网距布置得很小，布置钻孔个数很多。有的区域地质条件简单，不需要很密的勘探网距，就能达到所需的勘探程度。

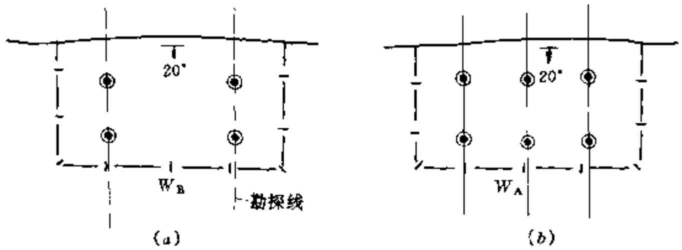


图 9－11　勘探程度高低示意图

W_B、W_A－表示不同级别的储量

勘探程度的高低与储量级别密切相关。如图 9－11 所示，开始布置施工网距（图 9－11*a*），获得地质资料，计算出储量 W_B；后来又增加一条勘探线 2 个钻孔，利用这个网距（图 9－11*b*），获得地质资料，计算出储量 W_A。两次计算的结果，在数量上可能出入不大，但对地质情况的了解、查明程度，尤其是对煤层赋存状态的控制程度和煤炭储量的可靠性，两者是不同的。显然后者勘探程度高，前者低，这也就反映 W_A 的储量级别比 W_B 要高。

所以，煤炭储量不仅仅是单纯的数量概念，而且还在一定意义上反映勘探程度。很明显，勘探区（井田）内储量级别越高，尤其是高级储量所占的比例越高，其勘探程度越高。但是，由于国家资金、人力有限，不可能一次性使整个勘探区都达到高级储量的程度，因此国家根据地质和开采条件及井型大小，专门规定了高级储量的比例。其中，地质和开采条件分为三类：第一类（简单类型），含煤程度高，地质构造简单，勘探及开采条件较好；第二类（中等类型），含煤程度中等，地质构造较简单，勘探及开采条件不太复杂；第三类（复杂类型），大部分含煤程度不高，地质构造复杂，勘探及开采条件困难。井型分为大、中、小三种，大型矿井年生产能力为 120 万 t、150 万 t、180 万 t、240 万 t，300 万 t 以上为特大型矿井；中型矿井年生产能力为 45 万 t、60 万 t、90 万 t；小型矿井年生产能力为 9 万 t、15 万 t、21 万 t、30 万 t（在设计中不允许出现中间井型）。不同的地质及开采条件和井型，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

其高级储量在全井田和第一开采水平内所占比例则不相同(表 9—6)。一般要求高级储量主要分布在第一水平，尤其是首采区，而井田深部和两侧主要为低级储量。

表 9—6 矿井高级储量比例表

储量级别比例% \ 地质及开采条件 / 井型	简单			中等			复杂	
	大型	中型	小型	大型	中型	小型	中型	小型
井田内 A+B 级储量占总储量的比例	40	35	25	35	30	20	25	15
第一水平内 A+B 级储量占本水平储量的比例	70	60	40	60	50	30	40	不作具体规定
第一水平内 A 级储量占本水平储量的比例	40	30	15	30	20	不作具体规定		不要求

注：露天矿先期开采地段的高级储量比例应比本表第一水平的规定再增加 10%。

第三节 煤矿地质勘探

煤矿地质勘探又称矿井地质勘探，是继煤田地质普查直至精查勘探之后，从煤矿建设开始到煤矿生产及开采结束期间所进行的一切地质勘探工作。

随着矿井建设和生产的进行，煤田地质勘探提供的资料常常与实际情况之间存在某些差异；矿井生产若干年后，井田中央和上部水平的高级储量将不断减少；随着采掘工程不断向深度和广度发展，可采煤层的面积也不断减少，矿井服务年限也将随之不断地缩短。这就要求在生产期间除进行经常性的矿井地质调查、分析、研究之外，还要运用各种技术手段进行必要的地质勘探工作，以便解决上述问题。煤矿地质勘探的目的在于获得可靠的地质资料，查明影响采掘生产的地质因素，提高储量级别，增加可采储量，以满足矿井各种设计的需要，保证生产正常接续和安全生产。

一、煤矿地质勘探的任务及特点

1. 煤矿地质勘探的主要任务

(1) 在新井开凿之前，查明井筒、井底车场、主要大巷所在位置的地质情况及水文工程地质情况。

(2) 在新水平或新开拓区设计之前，查明地质构造、煤层赋存状况及其它地质和水文地质情况，提高勘探程度和储量级别。

(3) 在开采过程中，解决经常出现的局部地质问题。

(4) 在残采区进行找煤勘探工作。组织实施一些专门性的钻孔施工。

2. 煤矿地质勘探的特点

与煤田地质资源勘探相比，煤矿地质勘探具有如下特点：

(1) 具有继承性和补充性。煤矿地质勘探是在煤田地质资源勘探的基础上进行的，有丰富的第一性资料可供煤矿地质勘探设计利用，其勘探方案的选择原则上应与资源勘探尽量保持一致。但重点应放在补充勘探以前工作不足的工程上。

(2) 直接为采掘生产服务。在确定勘探时间和布置勘探工程时，必须考虑生产接续计划和采掘工程设计与施工的需要。

(3) 具有针对性和局部性。煤矿地质勘探多是针对某一专门问题而进行的，任务比较单一，范围比较小，一般不要求提交完整的地质勘探报告，但要求简明、精炼。

(4) 具有一系列优越条件。进行煤矿地质勘探时，既有资源勘探和丰富的井巷资料作为依据；又有条件采用井下钻探、巷探和井下物探等手段，并能把井上、井下工程布置结合起来。

二、煤矿地质勘探分类

按照勘探目的不同，将煤矿地质勘探划分为建井地质勘探、煤矿资源勘探、煤矿补充勘探、生产勘探和煤矿工程勘探等五类。

(一) 建井地质勘探

建井地质勘探是指在矿井井筒开凿之前，为满足井筒、井底车场、硐室和主要运输大巷设计与施工需要而采用特殊技术钻孔的勘探。

1. 井筒检查钻孔

在新井开凿之前，为了核实井筒地质剖面，查明井筒通过的煤岩层的物理力学性质、断层破碎带，基岩风化裂隙带，第四系松散土层、流砂层，各主要含水层厚度、埋藏深度和特征等地质及水文工程地质条件，编制施工设计方案，一般要求布置井筒检查钻孔。

1) 井筒检查钻孔布置的原则

(1) 立井井筒检查钻孔的布置　①水文地质条件简单时，一般在主、副井井筒中心连线的中点布置一个检查钻孔，其偏离范围不得超过 10m（图 9—12*a*）。②水文地质条件中等复杂时，除在两个井筒中心连线的中点布置一个检查钻孔外，还应在其延长线上的任一端再布置一个检查钻孔，增加孔的位置距离最近井筒中心以 10～25m 为宜（图 9—12*b*）。③水文地质条件复杂时，一般井筒两侧都应有检查孔控制，其数目视具体情况而定（图 9—12*c*）。钻孔应尽量布置在井筒中心连线的延长线上，以便编制完整的地质剖面图，有利于地质资料的对比分析。④当两个井筒间距超过 50m 时，应按两个独立井筒对待，检查孔应布置在井筒周围，距井筒中心距离为 10～25m。⑤除探测喀斯特或特殊施工需要外，检查孔不得布置在井筒圆周范围以内和井底车场上方。在终孔深度以内，检查孔最大偏斜位置距离井筒井壁不得小于 5m，以免导致井巷日后淋水。但当采用钻井法（大钻头）时，检查孔应布置在井筒中心 1m 范围之内。⑥检查孔的深度应达到井筒落底标高以下，在可能的情况下，应达到未来延深水平的标高。⑦暗立井的检查孔，应尽量从井下施工。⑧在设计井筒周围 25m 内已有施工钻孔，或能提交满足施工要求的预想地质剖面图时，也可不打检查孔。

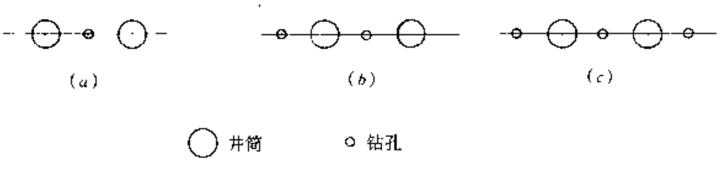


图 9—12　立井井筒检查钻孔布置示意图

(2) 斜井井筒检查钻孔的布置　①斜井检查孔的布置应以能编制一张平行井筒中心线的完整地质剖面图为原则，该剖面位置距井筒中心线以 10～25m 为宜。②两个互相平行、间距不大于 50m 的斜井，检查孔应布置在它们二者中间的平行线上。③斜井检查孔一般不少

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

于3个，其中第一个钻孔应布置在煤层露头附近，最后一个钻孔应布置在斜井落底与平巷连接处附近（图9—13）。生产矿井斜井延深时，一般不少于两个检查钻孔，且第一个钻孔应布置在上山下方的一定距离内。①检查孔的终孔深度，应达到该孔所在处斜井底板标高以下。

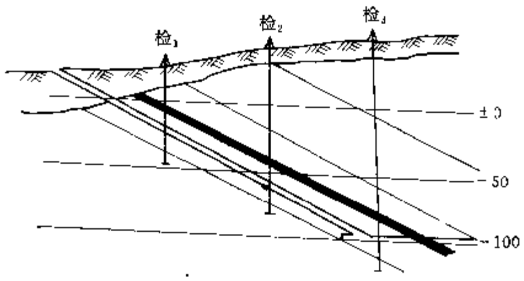


图9—13 斜井井筒检查孔布置示意图（剖面图）

（3）平硐检查钻孔的布置 ①穿层平硐检查孔的布置，原则上与斜井基本相同，但还应根据岩层倾角的陡缓，要有足够的钻孔穿过平硐所通过的各个层位，并严格控制平硐的见煤位置，以利确定底板运输大巷的具体位置。检查孔的终孔深度应达到平硐的所在水平标高。②顺层平硐检查孔的布置类似于确定主要运输大巷的方法，可在勘探线上和勘探线之间布置钻孔，进一步控制和确定煤层底板标高、平硐所在岩层的厚度、岩性及其标高。

2）井筒检查钻孔的施工要求

（1）井筒检查钻孔的终孔直径不得小于89mm，基岩抽水段的孔径不得小于108mm，终孔深度和终孔层位应严格按照设计需要而定。

（2）一般应全孔取心，并要长期保存。各种岩层岩心采取率按表9—7执行；全孔各分层采取率合格层次应达到80%以上。

表9—7 井筒检查钻孔分层岩心采取率质量要求

分层岩性	最低采取率%	分层岩性	最低采取率%
砂层	50以上	粘土及亚粘土层	75以上
砂砾石层	30以上	基岩	70以上
卵石层	15以上	断层破碎带	40以上

注：一般不得出现连续四次采取率为零，否则应采取捞心措施。

（3）检查孔穿过的土层、岩层，每层至少采取一个样品。如岩（土）层成分变化大，层厚超过5m时，应适当增加取样数目。对可采煤层的顶底板要单独取样。如果煤层的瓦斯资料不全，则应采集瓦斯煤样。

（4）检查孔每钻进20m须测斜一次，钻孔偏斜率应达到《规程》甲级孔要求，即控制在0.15%以内。

（5）检查孔应进行全孔测井，并做好综合解释及分层定厚工作。

（6）钻进时，应做好简易水文观测，并进行抽水试验，采集水样。

（7）详细观察和鉴定底砾岩和风化带，判别强、弱风化带的深度。

（8）施工结束后要进行封孔，孔口应设立永久性标志。

3）井筒检查孔竣工后应提交的地质资料

(1) 文字报告　重点阐述与水文工程地质有关的问题。主要有:①井筒穿过的表土层、岩层和煤层的物理力学性质、厚度及埋藏深度,尤其要注意松散层的底砾岩、流砂层,基岩风化带、断层破碎带的深度和工程地质特征,以及煤与瓦斯突出的危险性。②井筒穿过的含水层的层数、岩性、厚度、埋藏深度、裂隙和喀斯特的发育程度,以及各含水层的水量、水位、水质和地下水动态。采用特殊凿井时,还应补充地下水的流向、流速和水温等资料。

(2) 图件　①井筒和检查孔平面位置图（1：1000)；②据井筒与检查孔资料编制的地质剖面图（1：1000)；③井筒检查孔柱状图（1：200)。

(3) 附表　①砂、土、岩层样品分析试验成果表；②抽水试验成果分析曲线图表；③水样全分析及侵蚀性分析化验成果表；④瓦斯含量测试成果表以及地温测温成果表；⑤其它如钻孔岩心标本、原始记录、数据等表格。

2. 层位控制钻孔

矿井建设和生产中，有些井巷工程如井底车场、硐室、运输大巷等对地质条件要求较高，对它们所在的层位要严密控制。这就需要布置工程检查钻孔，查明井巷所在水平位置的煤、岩层层位分布、层厚、岩性及地质构造等工程地质条件，提供必要的地质资料，满足这些工程的设计和施工要求。

1) 层位控制钻孔的布置

(1) 凡资料不足，在井底车场、大巷、硐室等主要开拓工程的设计与施工之前，必须布设层位控制钻孔。

(2) 层位控制钻孔一般布置在工程轴线的平行线上，不得布置在硐室或主要巷道的正上方。

(3) 层位控制钻孔的数目，应视工程地质条件的复杂程度、硐室的大小、巷道的长短等因素来决定。①对地质构造简单，煤岩层厚度、产状稳定，勘探资料可靠的矿井，一般可以不布置层位控制钻孔。②在产状较平缓，次级褶曲较发育的地区，习惯上要求将大巷标高误差控制在10m以内,一般在原勘探线之间加1～2个钻孔即可达到要求。③在地质构造较复杂，岩、煤层厚度及产状变化较大的井田，常在原勘探线上用双孔确定该水平线的大致位置，然后再在原勘探线之间布置加密孔，以控制大巷的走向。

(4) 层位控制钻孔的终孔深度必须超过大巷设计层位一定距离。

2) 层位控制钻孔的施工要求

(1) 层位控制钻孔应按《规程》的甲级孔标准施工，一般应打成直孔，钻孔必须严格控制在巷道所在岩层的位置上。

(2) 层位控制钻孔应在井下硐室、巷道所在标高以上50m范围内采取岩（煤）心，每层至少取一个样品。

(3) 主要含水层应做抽水试验。

(4) 终孔后应严格封孔。

3) 层位控制钻孔竣工后应提交的地质资料

(1) 简要文字说明　概述钻孔布设的目的和要求,施工质量,成果评述,存在问题,结论和建议。

(2) 图件　①钻孔岩（煤）层柱状图（1：500)；②预想水平切面地质图（1：1000)；③沿工程轴线编制的地质剖面图（1：500～1000)。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(3) 附表　包括岩（煤）层各种工程地质性质的测试成果、抽水试验成果等数据表。

3. 其它建井地质勘探钻孔

此外，还有一些特殊要求的钻孔。例如，为配合特殊凿井布置的冻结孔；为煤矿安全生产布置的注浆灭火孔、瓦斯抽放孔、泄水孔和放顶孔及为敷设电缆的工程孔和为地面压风管道通往井下而布置的管道安装工程孔等。严格地说，这些钻孔都不属于地质勘探范围。但是，可以利用这些钻孔所揭露的地质资料，做到一孔多用。这些钻孔的布置原则及施工要求与前面所述基本相似。

（二）煤矿资源勘探

煤矿资源勘探是指为解决生产矿井煤炭资源问题而进行的地质勘探。

1. 煤矿资源勘探的任务

(1) 查明延深水平和新开拓区煤炭储量。在延深水平或新开拓区，因无正式批准的精查地质报告，必须进行煤矿资源勘探。

(2) 查明因重大地质、水文地质问题勘探程度不足而发生的矿井煤炭储量变化。因原勘探报告遗留有重大地质、水文地质问题、勘探程度不足和发现地质构造形态与原地质报告有重大出人，不能满足生产建设的要求必须进行煤矿资源勘探。

(3) 矿井扩大井田范围时查明扩大区域的煤炭储量。

2. 煤矿资源勘探原则和标准

煤矿资源勘探根据矿井采掘工程设计的需要，针对实际存在的地质问题而进行。它实际上是属于煤田地质勘探（煤炭资源地质勘探）的直接延续。两者的差别仅在于它主要是由生产矿井部门完成或由生产矿井委托的地质勘探部门完成。煤矿资源勘探的原则和标准与煤田地质勘探相同。

（三）煤矿补充勘探

又称矿井补充勘探，是生产矿井为解决原勘探程度不足进行的补充性地质勘探。

1. 煤矿补充勘探的任务

(1) 提高延深水平高级储量的比例。因延深水平高级储量比例达不到规定标准，不能满足设计需要必须进行矿井补充勘探。

(2) 解决矿井改、扩建和开拓延深工程设计中存在的地质问题。

(3) 重新评定新发现或勘探程度不足的可采或局部可采煤层。

显然，煤矿资源勘探和煤矿补充勘探大同小异。前者是煤田地质资源勘探的后续工程，其工作范围可在井田内或井田外进行；后者是煤田地质资源勘探的补充工程，它的工作范围仅限井田范围内，即原勘探报告工作范围内。但就其目的来说，它们都是相似的，即为了扩大井田范围，提高储量级别，为生产服务。

2. 煤矿补充勘探的原则

(1) 煤矿补充勘探的时间安排，必须考虑矿井生产接续的需要。一般应安排在上一水平或老开拓区产量递减趋势出现之前，并且保证有一定的时间完成补充勘探的设计、施工及提交报告。

(2) 补充勘探程度一般应达到延深水平开拓前的地质工作标准：①延深水平的基本地质构造形态已经查明，一、二类矿井应查明落差大于 20m 的断层，三类矿井应基本查明影响采区划分的主要地质构造，四、五类矿井应对有开采可能的地段的地质构造进行必要控

制，并提出结论性意见；②与水平延深主体工程有关的地质构造、层位、水文工程地质条件均已控制；③延深水平高级储量所占比例应达到表 9—8 的要求。

表 9—8 延深水平高级储量应占百分比

矿井地质条件	一类矿井		二类矿井		三类矿井			四类矿井		五类矿井
井 型	大型	中型	大型	中型	大型	中型	小型	中型	小型	小型
延深水平 A+B 级储量占本水平储量的百分比	70	60	65	55	60	50	30	40	—	—

注：此表据《矿井地质规程》(试行)，1984 年。

(3) 补充勘探工程布置系统原则上应继承原有勘探线系统，加密勘探线应尽量与石门、采区上（下）山等主要井巷工程的位置和方向保持一致。

(4) 补充勘探工程密度应以普遍提高勘探程度，满足水平延深工程设计要求为准。《矿井地质规程》提出了不同矿井地质条件类别的钻孔基本线距（表 9—9）和极限布孔密度（表 9—10），可以作为布置钻孔和划分储量级别的依据。

表 9—9 钻孔布孔基本线距

矿井地质条件类别	以地质构造为主的矿井各级储量的基本勘探线距，m			以煤层稳定性为主的矿井各级储量的基本勘探线距，m		
	A 级	B 级	C 级	A 级	B 级	C 级
一类矿井	750	1500	3000	750～1000	1500～2000	3000～4000
二类矿井	375～500	750～1000	1500～2000	375～500	750～1000	1500～2000
三类矿井	250m 左右，钻探与巷探结合	250	250～500	250m 左右巷探为主，钻探为辅	250～500	500～1000
四类矿井	250m 左右，以巷探为主，钻探为辅	250m 左右，巷探与钻探结合	≥250m，以钻探为主，巷探为辅	250m 左右，以巷探为主，钻探为辅	250m 左右，巷探与钻探结合	≥250m，以钻探为主，巷探为辅
五类矿井	通常采用边探、边掘、边采的方式进行，勘探过程中无高级储量					

注：此表引自《矿井地质规程》(试行)；文字略作简化。表中，储量级别以主采煤层为准提出。

表 9—10 极限布孔密度

矿井地质条件类别	极限布孔密度 个数/km^2	简要说明
一类矿井	≤5	
二类矿井	≤10	
三类矿井	≤20	对较复杂的地质问题，采用巷探与钻探结合
四类矿井	≤30	采用巷探与钻探结合
五类矿井	≤30	采用巷探与钻探结合

注：此表据《矿井地质规程》(试行)；文字略作简化。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(5) 补充勘探工程的布置，要针对问题全面规划、合理布置，充分利用矿井有利条件，因地制宜，地面与井下结合，物探与巷探结合，配套使用。

另外，每一矿井原则上应有2个以上的钻孔进行地温、瓦斯测定和伴生矿产采样。有地热或瓦斯危害的矿井，其采样不应少于2条剖面线，每条线上不少于2个钻孔。

3. 煤矿补充勘探设计与施工

由于煤矿补充勘探工程量较大，必须编制正式的设计，并报上级机关审定批准。

煤矿补充勘探工程的施工，应参照煤炭资源勘探的有关规程。

(四) 生产勘探

生产勘探是指为查明生产矿井采区内部影响正常生产的各种地质条件而进行的地质勘探。

1. 生产勘探的任务

(1) 查明采区内影响工作面划分、采煤方法选择的地质构造和煤层赋存状态。

(2) 查明采区内影响正常采掘和安全生产的各种地质和水文地质因素。查明巷道掘进中遇到的断层并寻找断失煤层，为巷道掘进指明方向；查明影响采煤工作面连续推进的各种地质构造、喀斯特陷落柱、煤层冲刷带、火成岩侵入体等的位置与分布范围，以及它们对正常采掘工作的影响，圈定不稳定煤层的可采范围；查明采区内可采煤层的伪顶、直接顶、基本顶的厚度、岩性、含水性以及各煤层间距变化情况；查明采区与老采区、小窑等的空间关系等。

(3) 探明采区内煤层的可采性。

2. 生产勘探的特点

生产勘探是矿井地质一项经常性的工作，它贯穿于煤矿开采的整个过程，具有如下特点：

(1) 生产勘探直接为采掘工程服务，勘探任务单纯，解决问题具体。

(2) 生产勘探工程布置要灵活机动，因地制宜，强调其针对性和实用性，不宜苛求其规范性和勘探网度。

(3) 勘探手段可用钻探、巷探、物探，井上与井下结合，钻探与巷探结合。

(4) 生产勘探往往是局部的小工程，无需详细的设计，只需提交一份简单说明勘探目的、要求和数量的任务书，报请主管部门批准后，即可施工。竣工后无需提交专门的地质报告，只需利用其提供的地质资料修改图件、编制和补充地质说明书。

采区准备期间的生产勘探，主要是查清采区内地质构造形态、煤层赋存状况，以及水文地质等情况，使采区布置合理，各种工程施工安全顺利。在新采区设计前，常常由于局部煤厚变化不清，或个别断层延展情况不明，一般需要布置一定的钻探工程，进一步予以查明。在采区准备过程中，也可利用巷探查明邻近煤层或地质构造的变化情况。

巷道掘进期间的生产勘探，主要是圈定不稳定薄煤层的可采范围，查清断层位置和落差，寻找断失翼煤层，为巷道掘进指明正确方位。有时为了探明可采边界，采用副巷超前主巷，边探边掘的方法，查明变薄区的范围，确定主巷的方位和位置，这种探巷一般都为“一巷多用”。有时在掘进中遇到断层，断层性质难以确定，为了寻找另一盘断失煤层，也可在迎头布置放射状探钻进行探测。

回采期间的生产勘探，包括分层回采工作面的探煤厚，查明不稳定煤层的薄化带和各

种中小型地质构造，以保证回采顺利进行和煤炭资源的充分回收。当采用分层回采时，可利用电煤钻探下分层的煤厚。有时也可利用小断面的巷道探测变薄区或小断层等。如果有条件，也可利用物探手段，查明工作面内的异常情况。

（五）煤矿工程勘探

又称矿井工程勘探。是生产建设中根据专项工程的要求而进行的勘探。其勘探任务、原则和施工要求均依专项工程要求而定。

例如，在老采空区进行寻找残余煤的工程勘探。它的主要任务和要求是①查明老采空区的开采时间、位置、范围、巷道布置方式及其位置，采煤方法和采出的煤量；②查明老采区的煤层厚度及其变化，开采厚度和丢煤厚度，计算可采残余煤量；③探明地质构造和水文地质条件及瓦斯含量等情况；④确定有可能进行的复采地段及找煤方向。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第十章　主要地质图件

地质工作者通过现场编录及生产勘探取得大量地质原始资料，并经过对这些资料分析研究及综合整理，编制出反映各种地质特征（如煤层赋存情况、地质构造及水文地质情况等)、勘探工程和井巷采掘工程的布置情况及其相关资料的图件，称为地质图件。它是编制矿山设计、制定生产计划、指导采掘生产及矿产储量管理等的主要依据。根据煤矿生产的实际需要，本章主要介绍与煤矿生产有关的主要地质图件，包括地形地质图、地质剖面图、水平切面图、煤层底板等高线图、煤层立面投影图、煤岩层对比图、地层综合柱状图及水文地质图等。

第一节　地形地质图

一、地形地质图的概念、内容及作用

(一) 概念

地形地质图是表示研究区的地形特征、地层、矿层分布、岩层产状及地质构造特征的图件。在新地层覆盖区，把上覆岩层揭去，反映基岩面的各种地质现象的地质图件称为基岩地质图。

(二) 内容

地形地质图是以地形图为底图，通过地质调查及生产勘探而编制成的图件。煤矿生产过程中的地形地质图采用的比例尺一般为 1：10 000 或 1：5 000，在地质构造复杂的地区可采用 1：2 000 的比例尺。图中内容包括地形地物、地质界线、勘探工程及其它。

1. 地形地物

主要有地形等高线、地面建筑物、构筑物、地表水体、公路、铁路、桥梁、车站、三角点、高压线、经纬线及指北方向等。

2. 地质界线

包括各时代的地层分界线（系、统、组)、不整合面界线、滑坡范围、标志层、矿层露头线、褶曲轴线、断层线及岩层产状等。各种地质界线必须注明其代号或名称，如地层系统编号、标志层及矿层的编号、褶曲及断层名称等，如有火成岩的侵人或喀斯特陷落柱出现，应圈定其在地表或基岩面上的分布范围。

3. 勘探工程

包括钻孔、坑探工程（探槽、探井、探巷)、井筒位置、主要老窑等。

4. 其它

包括井田边界、剖面线、勘探线及其编号、井筒标高、矿体采掘范围、最高洪水水位线、图名、图签、图例和比例尺等。

(三) 作用

地形地质图是煤矿矿井设计和生产的基本图件之一；是设计部门用来选择运输干线及供电线路，确定井口、工业广场、建筑石料场等位置，考虑保护农田，寻找水源等不可缺少的图件；是生产部门用来编制井上下对照图，注意地下开采对地表的影响，防止建筑物布置在煤层的上部造成压煤现象等的重要图件；是勘探部门布置生产勘探工程等工作必备的基础图件。

二、地形地质图的编制方法

（一）地形地质图的填绘

地质填图首先是从研究地质剖面工作开始的，应以填图区内典型而最完整的剖面来代表全区的地层情况。其方法是首先在熟悉前人的地质资料和野外踏勘的基础上选择最完整和有代表意义的地层出露地段，进行地层的剖面测量和研究；然后根据比例尺的要求，按一定的间距、观测路线和观测点，对天然露头和人工露头进行观察、取样、描述和研究，并通过定点法及追踪法，将地层界线、火成岩侵入体接触界线、岩相界线及断层线等填绘到相应的地形图上去。

（二）利用地质剖面图编制地形地质图

1. 绘制经纬网格线

绘出正方形方格网（一般间距 10cm)，并标明经纬线距数值，如 1：10 000 的地形地质图，相邻两经线或纬线的实际距离是 1 000m。

2. 投放勘探工程

按各勘探工程点平面坐标值，将钻孔、探井和探槽投放到相应的平面位置上，其中同一条直线上的各工程点连线即为勘探线（图 10—1)。

3. 投放隐伏地质点

把各勘探线地质剖面图上地表或基岩界面出露的地层界线点、矿层（如煤层）露头点、断层点分别投放到平面图上与地质剖面对应的勘探线位置上，平移时应注意剖面图与平面图不同比例尺之间换算，且要以经纬线或准线为基准进行投放。

4. 分析连线

详细分析区内构造形态和特征，将各勘探线上同一地层界线点、同一煤层露头点、同一断层的露头点分别按图例用圆滑线条连接起来，连线时应先连断层线，后连地层线、煤岩层露头线。

(1) 断层连线　可根据勘探线地质剖面的控制情况，并参考断层走向确定。

(2) 地层界线和煤层露头线的连接　一般先连同一断盘上有 2 个以上控制点的相同层位线，再按露头间距连接只有一条勘探线控制的煤岩层露头线，并注意不同性质断层两盘相同层位的错动关系。

三、各种地质现象在地形地质图上的表现

（一）单斜岩层

地形地质图上岩层分布的形态繁杂多样，它受多种因素的控制和影响，如地形起伏、岩层的倾角及倾向等。

1. 岩层的产状对露头线形态的影响

水平岩层的地层界线在各点的标高相同，在地形地质图上其露头界线与相邻地形等高线平行或重合，其形态的变化完全取决于地形变化情况。直立岩层的露头线在地形地质图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

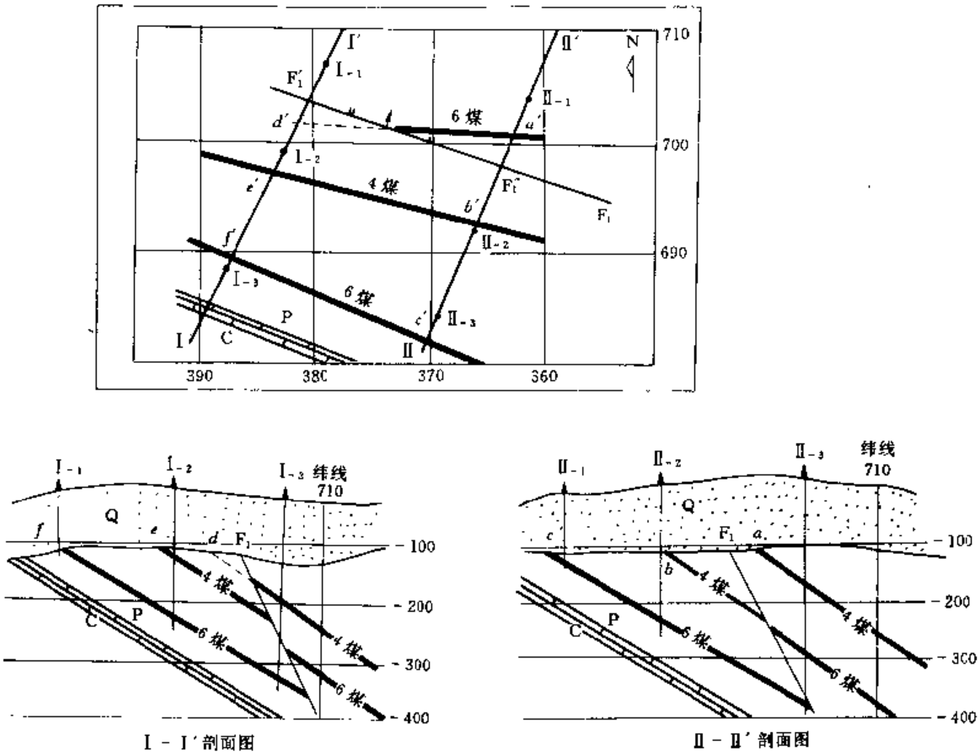
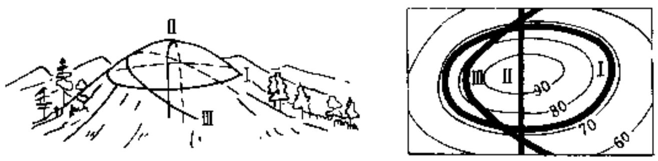


图 10—1 利用剖面图编制基岩地质图

上表现为一条直线，顺走向延伸不受地形变化的影响。倾斜岩层的露头界线是曲线，而且与地形等高线相交（图 10—2）。为了表示地形地质图上的岩层产状，需对产状进行标注，尤其是在产状发生变化的地段。产状的数据来源于实测资料，产状的符号为 $\top_{12^\circ}$，其中“—”表示岩层的走向，“↓”表示岩层倾向，“12°”表示岩层的倾角。

2. 地形及岩层产状变化对露头线形态的影响

在地形地质图中，地形及岩层产状的变化直接影响露头线的形态。倾斜岩层的倾角越



（*a*）　　（*b*）

图 10—2 水平、直立、倾斜岩层在地形地质图上的表现

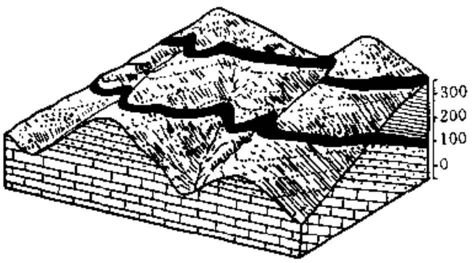
（*a*）立体图；（*b*）地形地质图

Ⅰ—水平岩层；Ⅱ—直立岩层；Ⅲ—倾斜岩层

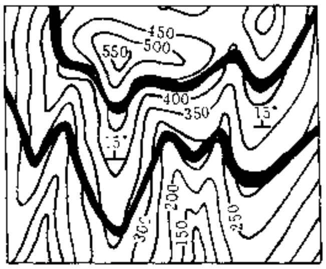
平缓，其露头线形态受地形的影响越大。当地面平坦时，单斜岩层的地层界线是一条沿走向延伸的直线。如果地形起伏变化大，则岩层露头线就显示为曲线，其具体形态取决于地形起伏的程度和岩层产状变化的情况。

（1）当岩层倾向与地面坡向相反，岩层露头线呈“V”字形或锯齿形曲线，并且在山谷处为一尖端指向上游的“V”字形；在山脊处为一尖端指向下山方向的“V”字形，即岩层露头线与地形等高线呈相同方向弯曲，且露头线的弯曲程度小于地形等高线的弯曲程度。岩层倾角越平缓，所形成的“V”字形就越与地形等高线平行；岩层倾角越陡，“V”字形则越较等高线开阔（图 10－3）。

（2）当岩层倾向与地面坡向一致，且岩层倾角大于地面坡角时，岩层露头线在山谷处形成尖端指向下游的“V”字形，在山脊处形成尖端指向上山方向的“V”字形，即岩层露



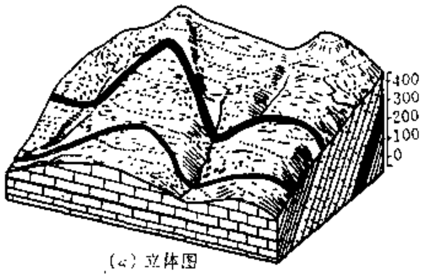
(a)



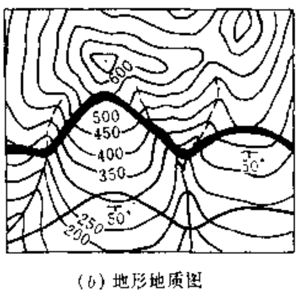
(b)

图 10－3　岩层倾向与坡向相反的“V”字形规律

(a) 立体图；(b) 地形地质图

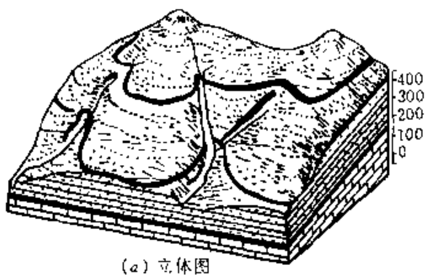


(a) 立体图

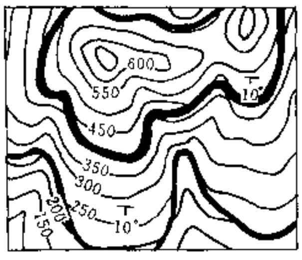


(b) 地形地质图

图 10－4　岩层倾向与坡向一致（倾角大于坡角）的“V”字形规律



(a) 立体图



(b) 地形地质图

图 10－5　岩层倾向与坡向一致（倾角小于坡角）时“V”字形规律

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

头线与地形等高线呈相反方向弯曲（图 10—4)。

(3) 当岩层倾向与地面坡向一致，且岩层倾角小于地面坡角时，岩层露头线在山谷形成尖端指向上游方向的“V”字形，在山脊处形成尖端指向下山方向的“V”字形，即岩层露头线与地形等高线呈相同方向弯曲，但岩层露头线的弯曲程度大于地形等高线的弯曲程度（图 10—5)。

3. 图件比例尺大小的影响

地层露头线受地形影响的程度在图件上的反映与图件比例尺大小有明显的关系。图件比例尺越大其受地形的影响越明显；图件比例尺越小，地层界线受地形影响就越不明显。在十万分之一或比例尺更小的地形地质图上，地层界线与地形关系显得极其微小，可忽略不计，其地层界线基本与岩层走向一致。

（二）褶曲在地形地质图上的表现

褶曲在地形地质图上的表现形态决定于地表形态、褶曲类型及其要素。

1. 地形平坦时褶曲的识别

当地形平坦时，褶曲在地形地质图上的表现形态与褶曲本身的特征有关。

(1) 水平褶曲　水平褶曲在地形地质图上，地层界线表现为一组近于平行的界线，可通过岩层出露的新老关系判别是向斜还是背斜，即自核部向两翼，岩层由老变新为背斜（图 10—6)，由新变老为向斜。

(2) 倾伏褶曲　倾伏褶曲在地形地质图上地层出露界线呈单向封闭的曲线（图 10—7)。

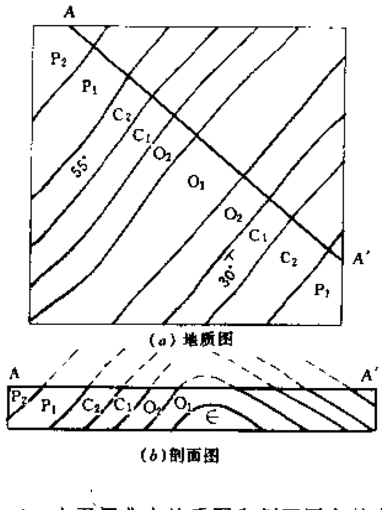


图 10—6　水平褶曲在地质图和剖面图上的表现

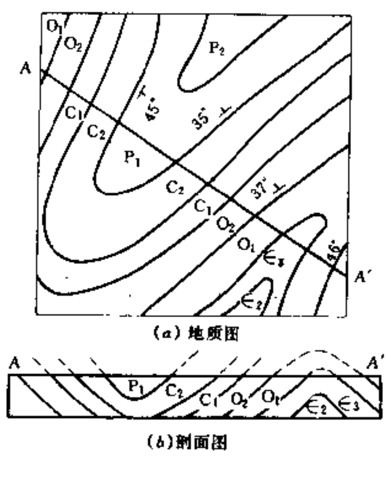


图 10—7　倾伏褶曲在地质图和剖面图上的表现

2. 地形起伏较大时褶曲的识别

当地形平坦时，地层界线出现一个弯曲，就是一倾伏背斜或向斜；当山高、沟深地形起伏较大时，单斜岩层在地形地质图上也出现弯曲（如前图 10—2)。所以，在这种情况下，地形地质图上的地层界线的弯曲受地形和褶曲构造两个因素的影响，可根据以下几点加以识别。

(1) 根据岩层产状　单斜岩层受地形的影响，虽然地层界线发生弯曲，但产状不变，而

褶曲构造岩层则走向发生变化。

（2）根据有无褶曲轴线　在地形地质图上，背斜构造一般以轴线符号表示；向斜构造用符号表示，而单斜岩层无褶曲轴线符号。

（3）根据地层界线弯曲情况与地形等高线的关系　单斜岩层受地形影响，地层界线弯曲情况与地形等高线有明显的变化规律（图 10—3、10—4、10—5）。褶曲构造的地层界线弯曲情况与地形等高线往往无明显的规律，如图 10—8 所示，*abc* 线上地形变化不大，但地层界线发生多次弯曲。

（三）断层在地形地质图上的表现

1. 用符号表示

正断层用表示，逆断层用表示。其中↓表示断层倾向，和表示断层的下降盘。平移断层用表示，箭头方向表示本盘平移方向。

2. 表现为一条线

断层在地质图上以一条线"——"表示。断层线的弯曲情况取决于地形和断层面的产状及其变化，且地形对断层线的影响与单斜岩层相同。值得注意的是，当断层和第四系界线相遇时，不穿过第四系的界线。

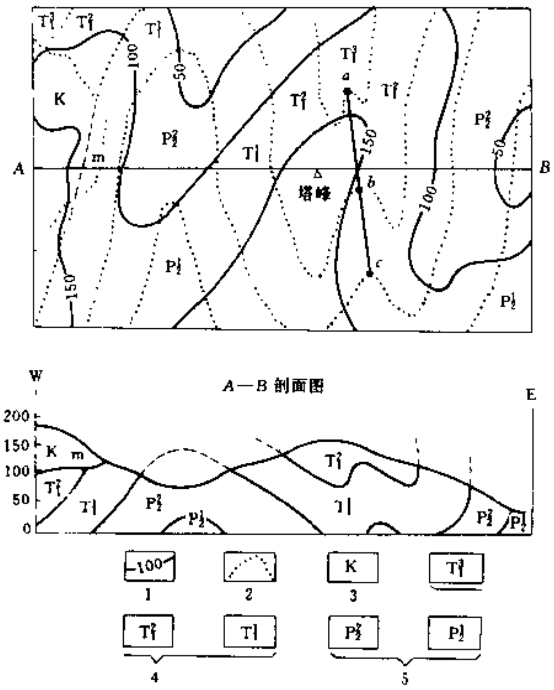


图 10—8　塔峰地形地质图及剖面图

1—地形等高线；2—地层界线；

3—白垩系；4—下三叠统；5—上二叠统

3. 断层两盘岩层不连续

在地形地质图上，断层两盘的岩层沿走向发生中断。当非平移断层切割褶曲时，断层两盘褶曲宽度发生变化：切割向斜，断层下降盘褶曲两翼距离较上升盘宽（图 10—9）；切割背斜时，断层下降盘褶曲两翼距离较上升盘窄（图 10—10）。

（四）其它地质现象在地形地质图上的表现

1. 火成岩侵入

当火成岩出露地表时，在地形地质图上要将其表示出来，其表示方法是用红色实线圈定火成岩出露范围，并用相应的岩性符号表示。

2. 喀斯特陷落柱

陷落柱为一柱状塌陷体，当其塌落到地表或基岩表面时，在地形地质图上应给以表示。陷落柱在图上表现为椭圆形的封闭曲线，且地层界线及断层线在陷落柱内均发生中断。

3. 不整合面

平行不整合面界线在地形地质图上与地层界线平行、用虚线┈┈表示，角度不整合面用波浪线～～～表示。在地形地质图上不整合面界线与地层界线相交，下部地层界线在上部地层内中断。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

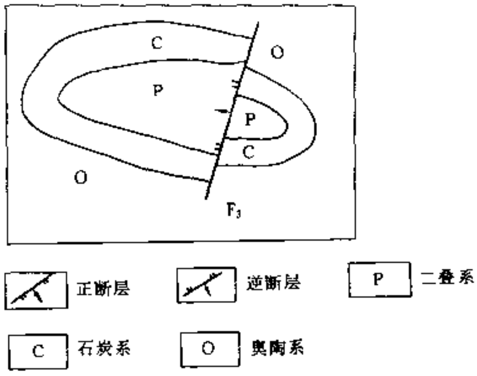


图 10—9　断层切割向斜时在地形地质图上的表现

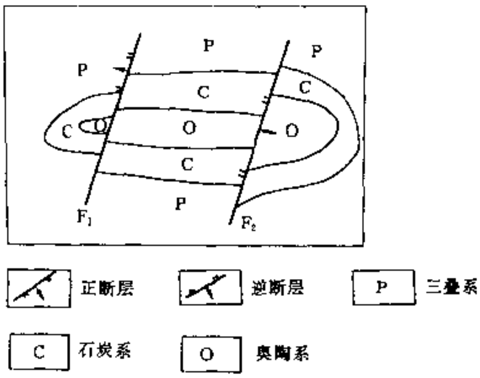


图 10—10　断层切割背斜时在地形地质图上的表现

四、地形地质图阅图步骤

1. 阅读图名、图幅代号、比例尺、编制的时间

图名和图幅代号可以说明地形地质图所在的地理位置。比例尺说明实物缩小的程度和地质现象在图上表示的精度。编图时间能说明资料利用的新旧情况。

2. 阅读图例

图例如同一本书的目录，通过阅读图例及地层综合柱状图，可以了解制图地区出露地层及其新老关系。图例一般放在图框的右侧，每个图例为长方形，左边注明地质时代，右方注明岩性，方框内注明地层代号、岩性、断层、节理、产状符号等。

3. 分析图中的地形特征

根据等高线了解山脉的走向和分水岭所在位置，地形最高点、最低点及相对高差等；分析地形特征和地层分布，地貌发育情况及其与地质构造的关系。

4. 分析地质内容

按照从整体到局部，再从局部到整体的原则首先了解图内的地质情况，包括：①地层的分布情况；②地层间整合关系；③地质构造特征；④火成岩的分布情况等。

5. 寻找平面图中的剖面位置

和剖面图相对应阅读，了解地质体三维空间的分布和相对关系。

6. 阅读综合柱状图

了解区内地质发展史，阅读时应从底部开始向上阅读。

7. 综合分析

在综合分析的基础上，了解各种地质现象的相互关系。

第二节　地 质 剖 面 图

一、地质剖面图的概念、内容及作用

（一）概念

所谓地质剖面图，是指沿铅垂方向，将大地切开，反映切开断面上岩层及构造形态的图件（图10—11），其中沿岩层走向切的剖面叫纵向剖面，沿岩层倾向切的剖面叫横向剖面。由于横向剖面反应构造形态最清楚，因此地质上讲的剖面图一般是指横向剖面图。生产矿井一般是沿勘探线或主要巷道轴线方向编绘地质剖面图，以反映煤层的构造形态及其与井巷工程之间的关系。剖面图是分析地质构造，编制其它综合地质图件、进行采掘设计、确定煤柱留设和布置矿井地质勘探的基础资料。

（二）内容

地质剖面图的主要内容包括：剖面切过的地形、地物、经纬线、水平标高线；地层界线、断层、火成岩侵入体、喀斯特陷落柱；煤层、标志层及其名称和编号，其它有益矿层；勘探工程，并注明钻孔编号、孔口标高、终孔深度、煤层及夹矸厚度；小窑、生产矿井井筒、井巷工程、采空区、井田边界、保安煤柱线及开采水平高程线（图10—11）。地质剖面图应注明剖面线方向、比例尺、图例和图签。

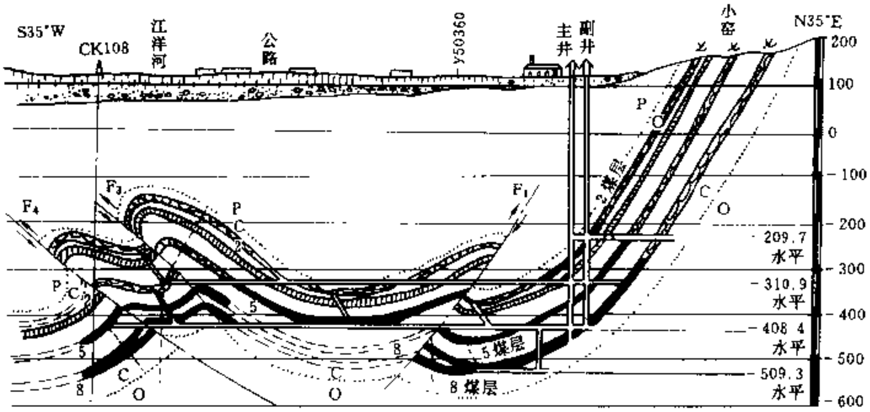


图10—11　某矿矿井地质剖面图

（三）作用

地质剖面图的作用在于它能直接反映研究区构造特征和煤层赋存情况、地质体的空间特征，反映对煤层和构造的控制和研究程度，为生产设计及实施勘探工程提供依据，同时它也是编制其它地质图件的基础。矿井勘探及生产过程中的地形地质图、煤层底板等高线图、水平切面图等一般均根据地质剖面图来编制。

二、地质剖面图的编制方法

（一）利用钻孔资料编制地质剖面图

1．确定编图的比例尺、图幅大小、剖面方向

（1）比例尺　一般用于编制地质图件的地质剖面图，比例尺应较地形地质图件的比例尺大一倍左右。

（2）图幅　一般为煤系地层倾向的控制宽度。

（3）剖面方向　一般确定剖面方向是以0°～180°为右，180°～360°为左。

2．编制水平标高线

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

水平标高距一般是根据岩层倾角大小及编图比例尺确定的。岩层倾角平缓，则选定的标高距小；岩层倾角大，则选定的标高距大。水平标高距的上下标高值取决于地面标高和勘探深度。水平标高线要求绘制精确，并在每条线的两端注明标高数值。

3. 投放工程点

以剖面线所切的某条经纬线或准线为基准，将剖面所切过的工程点全部投放到剖面的相应位置上，在平面图上量取其与基准点的相应位置，临近剖面线的工程一般按走向投影法投到剖面上，并用虚线表示工程，以示区别（图 10—12），歪斜钻孔要经校正后投绘到剖面图上去。

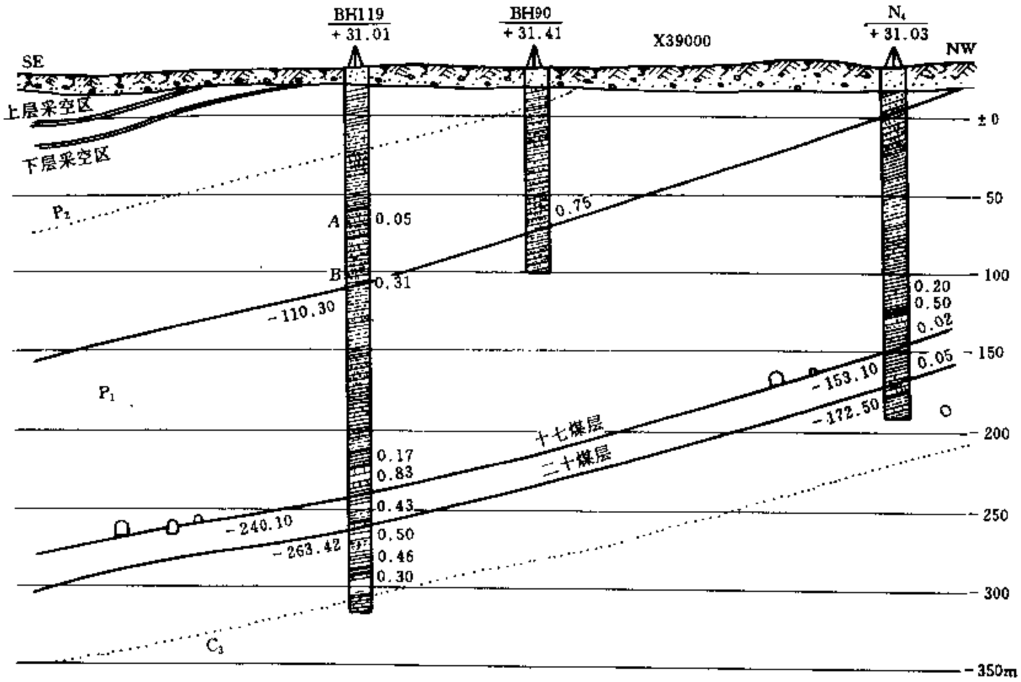


图 10—12 中央采区 A—A′剖面图

4. 绘出剖面地形线

剖面地形线一般是地质剖面所切地表的实际高程点的连线。对于地质剖面切过的地面建筑物及构筑物等要按统一的编图要求绘制。

5. 绘制剖面上的各勘探工程

各种勘探工程在图上的深度（钻孔和探井）或长度（探槽）按规定的比例尺绘制；工程类型按图例符号表示，如钻孔以宽度为 6mm 简易柱状表示，并在钻孔柱状内以视倾角画出煤层底板线、地层分界线、标志层及断层线等。

6. 分析连线

通过对比，确定各工程所控制的煤岩层层位；根据剖面所处的构造形态，确定地层倾向，把各工程中相同的层位点用圆滑的曲线连接起来。一般连线次序为：先连基岩界面线，再连断层线，最后连地层线和煤层底板线。

(1) 基岩界面线连接　在有新地层覆盖的地区，应勾划基岩面界线。其方法是连接剖面上各工程所揭露的新地层底界点，并向两端推延。

(2) 断层线的确定　找到剖面图上勘探工程所揭露的断层点，利用平面图上断层走向与剖面走向的夹角求出断层在剖面上的视倾角，即可在剖面上划出，或利用剖面上同一断层的两个以上的控制点直接连线即可。

(3) 地层、煤层及标志层的连线　先连同一断盘或同一翼上有两个点以上的工程控制点的相同层位，再按层间距连接或推出其它煤岩层层位。

7. 绘制图面其它内容

主要有图签、图名、比例尺、剖面方向、工程编号、煤层编号（包括煤层底板深度、真厚度）、地层代号及断层编号等。

（二）利用井巷实际资料编制地质剖面图

在矿井生产过程中，开掘的主要石门或上、下山常要编制地质剖面图。其目的是：一方面，在石门或上、下山设计与施工之前，便于沿着拟定的剖面方向有针对性地布置补充勘探工程，查明巷道轴线方向上的地质情况，指导巷道的设计与施工；另一方面，在石门或上、下山施工后，可利用巷道资料来修改矿井地质剖面图，提高精度，其方法与前述大同小异。以下用一实例说明主要应注意的几个方面。

1. 比例尺的确定

生产矿井地质剖面图的比例尺主要取决于生产的需要和地质条件的复杂程度，一般应大于或等于与之配套的平面图的比例尺。全矿井的地质剖面图通常采用比例尺为 1：2 000；构造简单，煤层稳定时，可采用 1：5 000；构造复杂、煤层不稳定时，可采用 1：1 000。

2. 钻孔的投绘

以石门或上、下山剖面轴线编制的剖面图，为了增加编图资料，对不在剖面线上、但又邻近剖面线的钻孔（距剖面线一般垂距小于 15m），可采用两种方法投绘：一种是垂直投绘法，即在平面图上，过钻孔中心点向剖面线作垂线，其垂足就是所投绘的钻孔位置；另一种是走向投影法，即在平面图上，根据钻孔附近的煤岩层产状，过钻孔中心点作平行煤岩层走向的延长线，该线与剖面线的交点，即为被投绘的钻孔位置。由于垂直投绘法对岩层标高歪曲较大，因此在有准确岩层产状的情况下，一般应采用走向投绘法。经投绘的钻孔，其开孔标高常与地质剖面不一致，应按实际孔口标高用虚线表示在剖面图上，以便与剖面线上的钻孔相区别。

3. 投绘巷道剖面

剖面线所切过的井巷工程，应按它在剖面线上的位置和标高投绘到剖面图上。当剖面切过的巷道部位未注明标高时，可根据附近测点标高进行内插估算，或在巷道实测剖面图上量算。

剖面图原则上只绘剖面切过的巷道，如果因生产和设计需要也可将平面上待投巷道中的各个测点向剖面线作垂线，求得与剖面线的交点，按其位置和标高投绘到剖面图上，用虚线连接起来，便是该巷道在剖面图上的投影。如图 10—13 中的二上山。

4. 投绘煤层和构造点

剖面线实切的煤层和构造点，可按它的位置、标高、倾角和倾向直接填绘在剖面图上。当需要利用剖面线附近的构造和煤岩层资料时，可采用走向延长法和辅助剖面法投绘。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

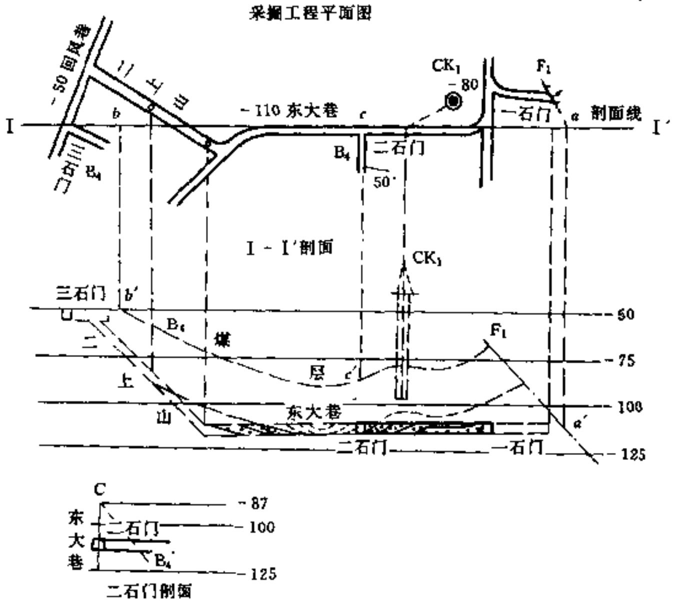


图 10—13　根据实测资料作剖面图

走向延长法是将平面图上的煤层和断层按其走向延长，求出走向延长线与剖面线的交点，并把交点按位置和标高投绘到剖面图上。如图 10—13 所示，一石门中的 F_1 断层和三石门中的 B_4 煤层按走向延长与剖面线交于 a 和 b 点，a 点标高为－110m，b 点标高为－50m，投绘到剖面图中为 a' 和 b' 点。

辅助剖面法是通过绘制与剖面线方向相交的辅助剖面图，从图上求出剖面线与辅助剖面线交点处的煤层底板标高，并把交点投绘到剖面图中。如图 10—13 所示二石门中的 B_4 煤层因其走向与剖面线近于平行，故不能采用走向延长法。这时可以通过绘制沿二石门的辅助剖面图，从图上求出剖面线与辅助剖面线交点 c 处的 B_4 煤层底板标高，投绘到剖面图中的 c' 点。

5. 对比连线

投绘实际地质资料是编制剖面图的基础，而对比连接煤层、标志层、地层和断层则是编制剖面图的关键。为此，必须深入分析构造和仔细对比煤岩层。

三、各种地质现象在地质剖面图上的表现

1. 单斜岩层

单斜岩层在地质剖面图上为一组倾斜的岩层线（岩层面与剖面的交线），其倾角大小与岩层的真倾角大小及岩层走向与剖面走向的夹角有关。当岩层走向与剖面走向垂直时，剖面图中岩层线与剖面水平线的夹角为岩层的真倾角；当岩层走向与剖面线走向平行时，剖面图上的岩层线为一组平行于剖面的水平线（图 10—14）；当岩层走向与剖面线斜交时，剖面图上岩层的倾角为视倾角。

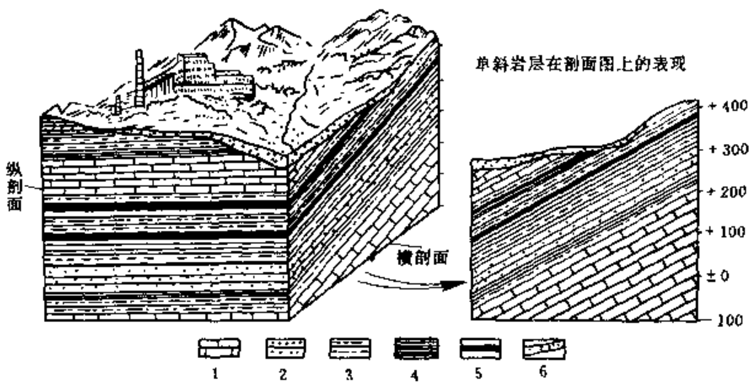


图 10—14　单斜岩层在剖面图上的表现

1—石灰岩；2—砂岩；3—粉砂岩；4—页岩；5—煤层；6—冲积层

2. 褶曲

在斜交褶曲轴线的剖面上，向斜表现为岩层向下凹，背斜向上凸；而在平行褶曲轴线的剖面图上，岩层为一组平行线（图 10—15）。

3. 断层

断层在地质剖面图表现为地层不连续，在图上用断层面与剖面的交线表示断层。正断层表现为上盘下降（图 10—16*a*），逆断层为上盘上升（图 10—16*b*）。由于剖面走向不一定与断层走向垂直，因此剖面图上的断层倾角一般为视倾角。为了在剖面图上能了解断层的产状，图上要表示断层的倾向、倾角和落差。

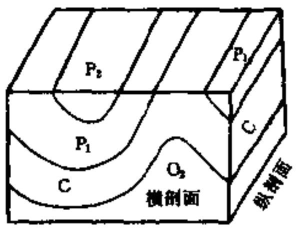


图 10—15　褶曲在地质剖面图上的表现

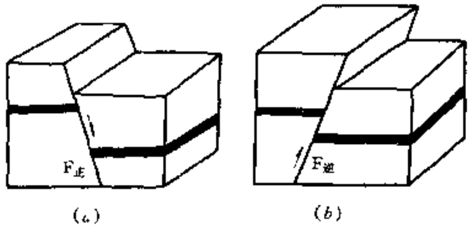


图 10—16　断层在地质剖面图上的表现

(*a*) 正断层在地质剖面图上的表现；

(*b*) 逆断层在地质剖面图上的表现

第三节　水平切面图

一、水平切面图的概念、内容及作用

（一）概念

反映某一水平地质情况和井巷工程的图件，称之为水平切面图（图 10—17）。在煤矿生

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

产中，水平切面图是沿某一开采水平进行编制的。

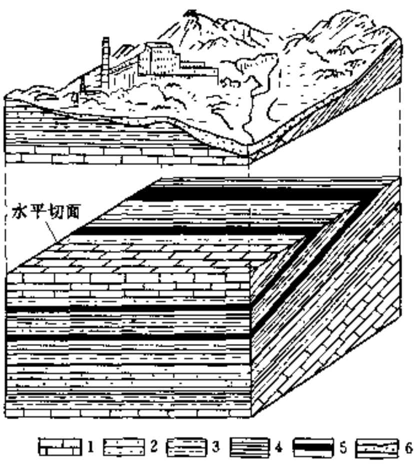


图 10－17　水平切面示意图

1　石灰岩；2—砂岩；3—粉砂岩；4—页岩；5　煤层；6—冲积层

（二）内容

1. 地质界线

图上要反映该水平所切过的各煤层、标志层、含水层、地层界线、断层的迹线、煤层的厚度及产状、褶曲轴线、火成岩在该水平的分布范围、水平面切过的喀斯特陷落柱边界线等。

2. 井巷及勘探工程

图上要反映该水平所切过的及其附近的所有工程，包括：该水平切过的井底车场、运输大巷、石门、煤巷、井筒及钻孔等。

3. 其它

主要有：地质剖面线、经纬线、指北方向线、井田边界线、煤柱线等。

（三）作用

由于水平切面图能反映该水平全部地质情况及井巷工程，所以它是煤矿生产中运用最广、作用最大的图件之一。特别是在煤层层数多、层间距小、地质构造较复杂、倾斜及急倾斜煤层地区，它是该水平开拓布置、井巷设计和掘进施工不可缺少的图件。同时，水平切面图常作为矿井生产设计该水平巷道系统的底图。

二、水平切面图的编制方法

（一）利用地质剖面图编制水平切面图

1. 确定图件比例尺

一般水平切面图的比例尺应小于地质剖面图的比例尺，煤矿生产过程中最常用的比例尺是 1∶5 000 及 1∶10 000，对于构造较复杂的小型井田有时采用 1∶2 000 的图件。

2. 确定编图水平高程

根据设计的水平标高，在地质剖面图上绘制水平高程。有两种情况：一是根据开采水平巷道的实际坡角或设计坡角推算出各条剖面所在位置的开采水平标高，并把推算出来的标高，用水平标高线绘在该剖面图上；另一种情况是根据开采水平，用固定标高绘水平高程线。如图 10－18a　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ剖面图中的－315m 高程线。

3. 投绘地质点

将水平高程线与剖面图上的各煤层、标志层及断层等交点，以经纬线为准线，按比例尺投绘到水平切面图相应的剖面线上去，如图 10－18a　Ⅰ剖面中的 a、b、c、d；Ⅱ剖面的 e、f、g、h；Ⅲ剖面中的 i、j、k、l 等点投影到水平切面图 10－18b 的各剖面线相应的位置得 a'、b'、c'、d'、e'、f'、g'、h'、i'、j'、k'、l' 等点。

4. 对比连线

先把相邻剖面线上的相同构造线连接起来，然后把断层同一盘的相同层位的煤层、标志层和含水层等连接起来。连图时还要充分考虑实测的产状资料。如图 10－18b 中 c'、h' 连接为 F_7 断层，e'、k' 连接起来为 F_8 断层。Ⅲ剖面线附近 F_8、F_9 之间的 B_4 煤层是根据 j'

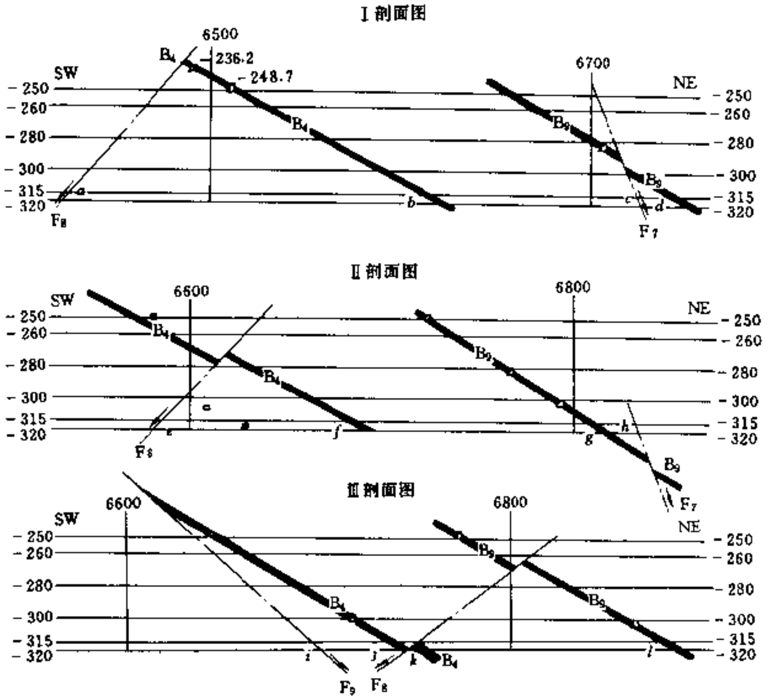


图 10—18(*a*)　淮南某矿Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ剖面图

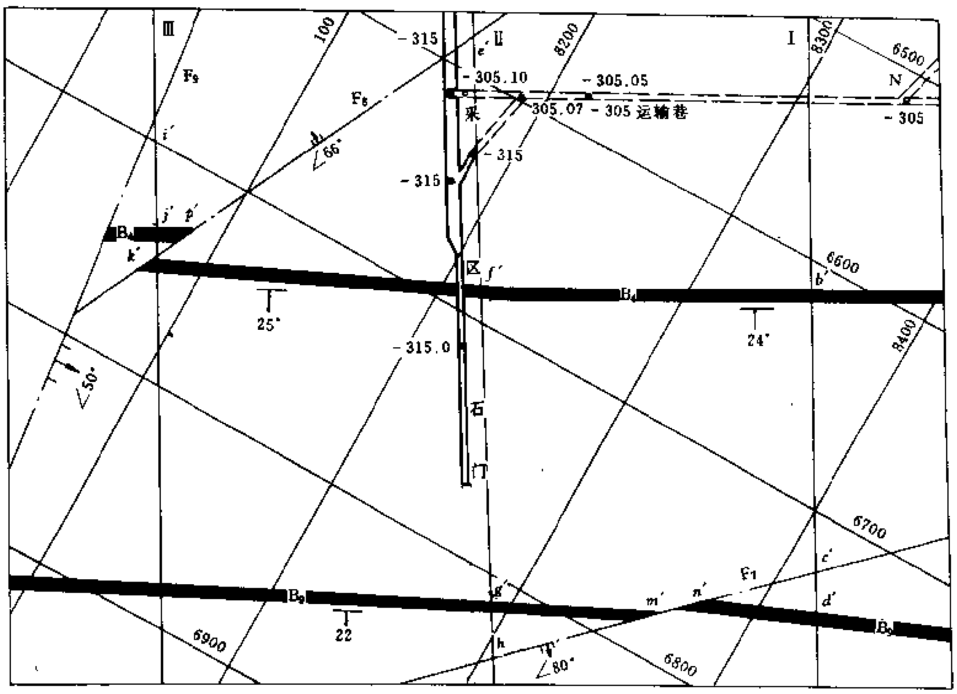


图 10－18(*b*)　淮南某矿－315 水平切面图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

点位置结合－315m 水平 F_8 上盘 B_4 煤层产状绘制出来的。

编制水平切面图过程中，在对比连接各种地质界线时，还有几个问题需要专门加以说明。

(1) 断层两侧 煤层的连接方法　如图 10－19 所示，要求根据Ⅰ－Ⅰ′剖面和Ⅱ－Ⅱ′剖面绘制－200m 水平切面图。首先将上述两剖面图中－200m 标高线与煤层和断层的交点投影到水平切面图上，然后把相邻剖面线断层同一盘的相同煤层连接起来。

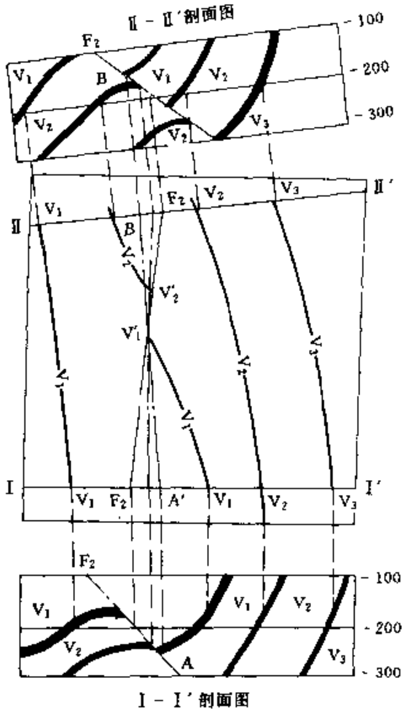


图 10－19　水平切面图断层两侧煤层的连接

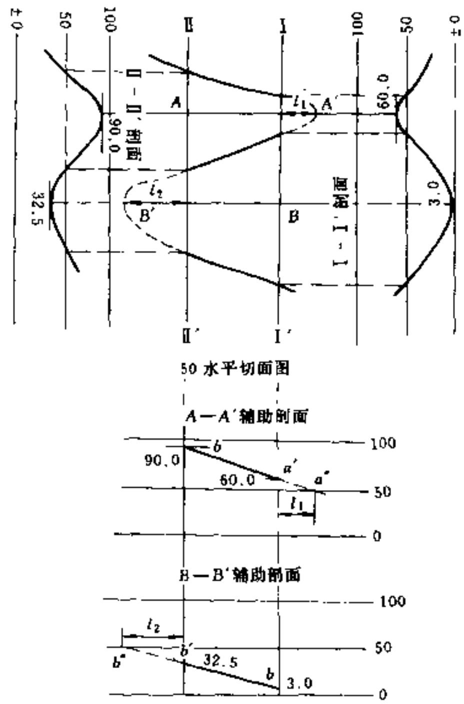


图 10－20　水平切面图褶曲转折端的绘制

但是，有时会出现这样的问题，即断层上盘煤层和下盘煤层，都只有一个投影点，如何从这一点连至断层，需要采取以下作法：

把图 10－19Ⅰ－Ⅰ′剖面图中 V_1 煤层与 F_2 断层的交点 A 投影到水平切面图上得 A' 点，Ⅱ－Ⅱ′剖面图上 F_2 断层同一盘 V_1 煤层与 F_2 断层交点 B 投到水平切面图上得 B'点。连接 A'、B'线，$A'B'$就是断层上盘断煤交线在水平切面图上的投影线。$A'B'$线与断层 F_2 走向的交点 V_1' 即为该断层上盘 V_1 煤层的具体位置。因为 V'在断煤交线的投影线上，所以此点必然是 V_1 煤层与断层的交点；由于 V_1' 又在－200 水平切面图 F_2 的断层迹线上，所以此点 V_1 煤层的标高必然是－200m。因此，连接 V_1，V_1' 线，便是断层上盘的 V_1 煤层；同理可求出断层下盘的 V_2 煤层连到断层线的具体位置。

(2) 褶曲转折端的绘制　编制水平切面图时，对于褶曲转折端，一般需要沿褶曲轴作辅助剖面，求出枢纽倾伏线与水平面的交点。图 10－20 中沿背斜轴作 AA'辅助剖面，沿向斜作 BB'辅助剖面，并求出背、向斜的枢纽倾伏线 aa'、bb'，然后分别向下和向上延长 aa'

和 bb'，与 50m 水平高程线分别相交得 a''、b''该两点即为枢纽倾伏线与 50m 水平的交点。量出该两点到剖面线的距离 l_1、l_2，按此距离在水平切面图上确定 A'、B'点，再用平滑曲线过 A'、B'点把褶曲转折端连接起来即可。

（二）根据井巷实测资料编制水平切面图

1. 准备底图及编图资料

已开拓的水平，可利用矿山测量部门测绘的分水平巷道图，作为编图的底图。如果没有分水平巷道图，则应根据编图的比例尺和编图范围准备底图。底图上要准确地绘上经纬线、地质剖面线，并根据测量资料投绘该水平的全部巷道及穿过该水平的全部钻孔。主要巷道应注明名称、测点标高，并用规定的符号和颜色把不同类型的巷道加以区别，使之一目了然。

开采水平不是一个标准的水平面。沿开采水平所布置的巷道，由于运输、排水的需要，从井口向两翼保持着 4‰左右的坡度，因此，同一开采水平各处的高程是不一样的。水平切面图常是根据该水平巷道的实际坡度或设计坡度来编制的。在有测量资料的巷道，应统一按巷顶或巷底高程填绘地层界线及构造位置；对于未掘巷道的设计部分，应按设计坡度，分别计算出各处的标高。

2. 填绘地质资料

按坐标与测点的相互关系，把井下地质编录资料填绘在平面底图上，一般是绘制巷顶的地质情况，即地质界线与巷顶的交线。要逐点地、逐条地填绘煤层的名称、位置、产状和厚度；主要标志层和含水层的名称、位置、产状；断层的位置、产状、性质、落差及主要断层的名称；褶曲轴的位置、方向及两翼岩层的产状、地层分界及其它地质现象。现以图 10—21 为例，说明利用巷道地质资料填绘水平切面图的方法。

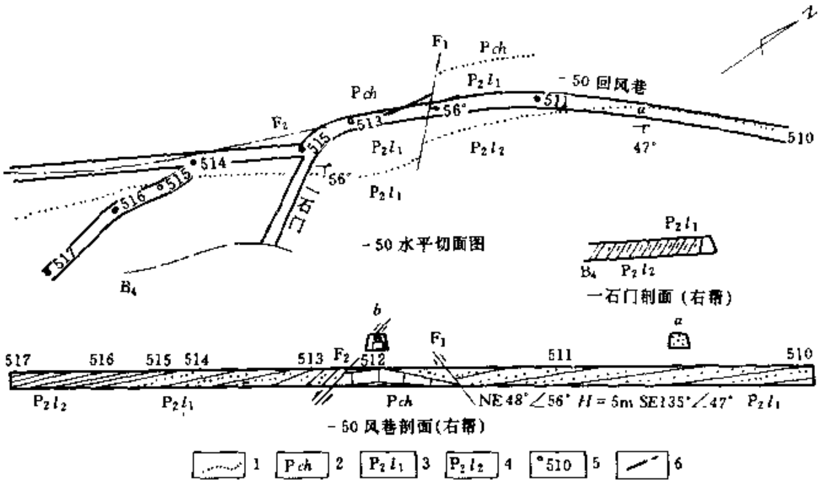


图 10—21 根据水平实测资料编制水平切面图

1—地层界线；2—栖霞阶；3—官山段；4—老山段；5—测点及编号；6—煤层

(1) 填绘风巷中的地层和断层　根据巷道实测剖面图和断面图，按走向填绘地层界线、断层面与巷顶的交线。图中测点 510 到 511 这段巷道，右帮（北帮）为官山砂岩，从 a 点迎头断面图上，可以看到官山段（P_1l_1）与老山段（P_2l_2）地层界线在巷顶通过，这时可依

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

据断面所在位置和巷顶地层界线点离左右帮的距离，把地层界线点标在水平切面图上，并把附近实测产状标在 a 点附近。在测点 515 附近，实测剖面图中的官山段和老山段的界线与巷顶的交点，可根据与附近测点的距离标定在水平切面图上。同样的方法，利用实测剖面图和断面图把 F_1、F_2 断层填绘在水平切面图上，并按断层走向作出断层迹线。

(2) 填绘一石门中的地层和煤层　在石门右帮实测地质剖面图中有官山段 (P_2l_1) 与老山段 (P_2l_2) 的界线，有 B_4 煤层顶、底板的界线，应该把它们与巷顶的交点填在图上，并按附近实测产状作适当延展。

(3) 分析对比、连接地质界线　在填好实际材料的底图上，细致地对比煤岩层和分析构造，根据实测产状，连接煤层、标志层、含水层、地层分界线及各种构造线。

三、各种地质现象在水平切面图上的表现

各种地质现象在水平切面图上的表现与在地形平坦的地形地质图上的表现相似，详见本章第一节。

第四节　煤层底板等高线图

一、煤层底板等高线图的概念、内容及作用

(一) 概念

煤层底板等高线图是反映某一煤层空间形态特征的图件。它是利用煤层底板等高线（底板相同标高点的连线）来表示煤层在空间的起伏及断裂情况。它可以帮助我们了解煤层层面的立体概念，掌握煤层产状变化和地质构造变化，是煤矿生产中最重要的图件之一。一般生产矿井，特别是倾斜和缓倾斜煤层矿井都必需编制这种图件。

(二) 内容

煤层底板等高线图一般采用的比例尺为 1∶10 000 或 1∶5 000。构造复杂的井田、井型较小的矿井及反映一个采区或采面的煤层底板等高线图，一般采用 1∶2 000 的比例尺。图件中主要包括以下内容：

1. 地形地物

地面河流、铁路、主要地物（如工业广场、居民点、高压线路）及地形等高线等。

2. 地质界线

煤层露头线，煤层风氧化带界线，煤层分叉界线，火成岩侵入界线，陷落柱界线，古河床冲刷煤层的界线，煤层底板等高线，断层与煤层的交线及断层的编号、倾角和落差，褶曲枢纽线等。

3. 井巷工程

穿过编图煤层的全部井上下钻孔、勘探线及编号、生产矿井的巷道、老窑及采空区范围、井筒（主、副、风井）的位置、井下回采工作面范围及编号、回采进度界线及探煤点煤厚等。

4. 其它

经纬线、井田边界线、见煤钻孔小柱状，其中包括见煤点煤层底板标高和煤层厚度及夹矸厚度（均以真厚度表示）、煤质主要指标小表（A^g　V^r　Y_{mm}　S^r）储量分级线、块段界线及编号、储量计算块段表（包括块段内平均倾角、平均厚度、储量级别及储量）等。

（三）作用

煤层底板等高线图是煤矿井巷布置、编制生产计划、安排采掘生产的重要依据；是分析地质构造规律、布置生产勘探、进行储量计算的基础图件；同时，编制煤层顶板岩性分布图、瓦斯地质图等分析图件，均以其为底图进行编制。

二、煤层底板等高线图的编制原理及方法

（一）原理

煤系地层形成之后，由于受构造变动的影响，夹在地层中的煤层层面，包括顶面和底面，大多数为一空间曲面。在勘探及矿井生产中，一般可根据钻孔孔口标高及煤层深度资料或井上、井下测量获得煤层底面各点的标高，如果把标高相同的点连接起来，就构成一条等高线，而每隔一定高度，如 50、100、150……各选取一条等高线，按垂直投影法投影到水平面上，并按一定比例尺编制成平面图，就形成了煤层底板等高线图（图 10—22）。当出现断层时，为了反映断层情况，除要将等高线投影到平面图上外，还要将煤层和断层的交面线投影到平面上。

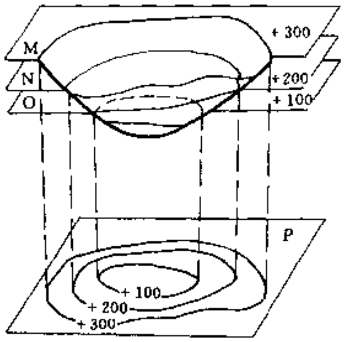


图 10- 22　煤层底板平面投影示意图

（二）编制方法

1．利用地质剖面图编制煤层底板等高线图

（1）打方格网并注明经纬线。按煤层露头大致走向确定指北基线（露头走向与成图的长边一致）。

（2）投放钻探工程及井巷工程。

（3）确定剖面线。矿井地质剖面编图方向一般垂直煤层走向，钻探工程一般在剖面线上布置。

（4）以经纬线或准线作为基准线（图 10—23），把每个剖面上煤层底板与各标高线交点的 a、b、c、d……各点对应地投影到剖面线上（a'、b'、c'、d'……），然后将相临各相同标高点用圆滑线连接，即为煤层底板等高线。

（5）如剖面上有断层，需先连断煤交线。方法是将上下盘断失点（$F'_{上}$、$F'_{下}$）分别对应地投影到剖面线上（$F_{上}$、$F_{下}$），上盘断煤交点相连得上盘断煤交线，下盘断煤交点相连得下盘断煤交线。

2．插入法

此方法在生产矿井运用较多，具体方法如下：

（1）分析煤层标高点的分布特点　在已填绘实际资料的采掘工程平面底图上，分析煤层底板各标高点在平面图上的分布特点并找出最大值和最小值，结合已掘的巷道分布情况，粗略地判断出编图范围内的构造轮廓，标出褶曲轴的大致方向及位置。

（2）连三角网　先根据标高点分布情况判断构造形态，然后将同一构造单元上相邻的点相连，就形成许多三角网。煤层形态在大面积内虽然是曲面，但每个小三角网则可近似地作为平面看待。在连三角网时要特别慎重，不能将距离较远的两点相连，以避免穿越褶曲两翼或断层两盘，而歪曲构造形态，失去煤层形态的真实性。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

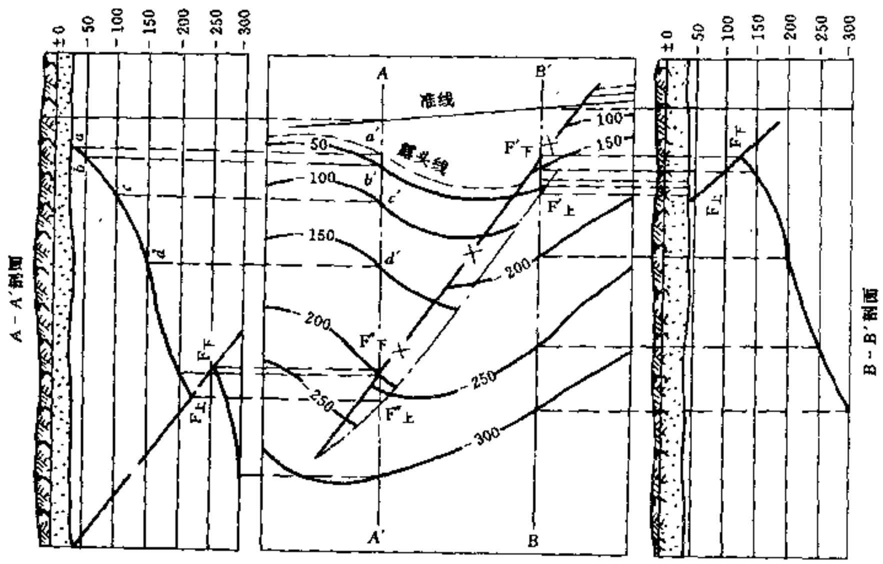


图 10—23　煤层底板等高线的作法（剖面法）示意图

（3）内插标高点、连煤层等高线　根据煤层底板等高线图的比例尺，按所需要的等高线距，找出相应等高线应通过的点，然后将图面上相同标高的点，按合理的顺序连成圆滑曲线，即为煤层底板等高线（图 10—24）。连等高线时要注意煤层走向的变化，防止漏掉断层。

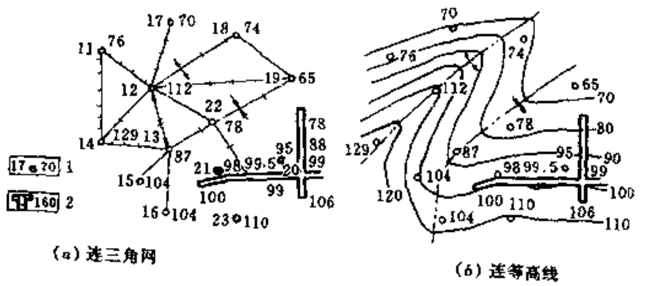


图 10—24　插入法编绘煤层底板等高线

1—标高点及编号；2－巷道实见煤层底板标高

（4）检查核对、修饰清绘　上述工作完成后，要从原始资料着手对所编的图纸进行全面审核，如果发现问题要及时修改，并除去图面上一些不必要的数字、符号及作图过程中画的辅助线。在等高线的一定位置上标明等高值，对实际揭露点及已采区可先着墨。

3. 断煤交线的编制方法

在煤层底板等高线图上的断层是用断层面与煤层面的交线（即断煤交线）的水平投影线来表示。生产实际表明，只有用断煤交线表示断层才能正确地推断断层在煤层中的位置、延展方向，才能正确地进行采区、采面的布置和确定巷道沿断层或过断层的掘进方向。断煤交线的位置确定正确与否是编制煤层底板等高线图的关键。在生产矿井，一般断煤交线的编制常用三种方法。

1）井下实测断煤交线

目前很多煤矿直接在井下测量断煤交线的方向，其测量方法是从巷道两帮上揭露的同一条断层迹线与同一盘煤层的底板的交点拉线，然后用罗盘测量即可得该断层断煤交线的方向。

2）剖面法绘制断煤交线

首先根据井巷观测编录资料编制沿巷道方向的局部平面图。在地质剖面图上绘出断层与上下盘煤层底板（或顶板）的交点，然后根据剖面图来填绘煤层构造平面图。如图10—25所示，两条上山见到同一断层，剖面图中断煤交点 a、d、b、e 至测量点的水平距离为 l_1、l_2、l_3、l_4。把它们投绘到平面图中，并将同一盘的断煤交点的投影连接起来，便是该煤层的断煤交线，图中 ab 为上盘断煤交线，de 为下盘断煤交线。因按断层走向填图的 bf 线的方向（b 与 f 点为同一断层面上标高相同的两点，其连线为走向方向）及按巷道顶揭露断层位置填图的 cb 线方向，都不能反映断层在煤层中的位置，所以按这两种方法来推断断层在煤层中的延展方向必然造成错误。

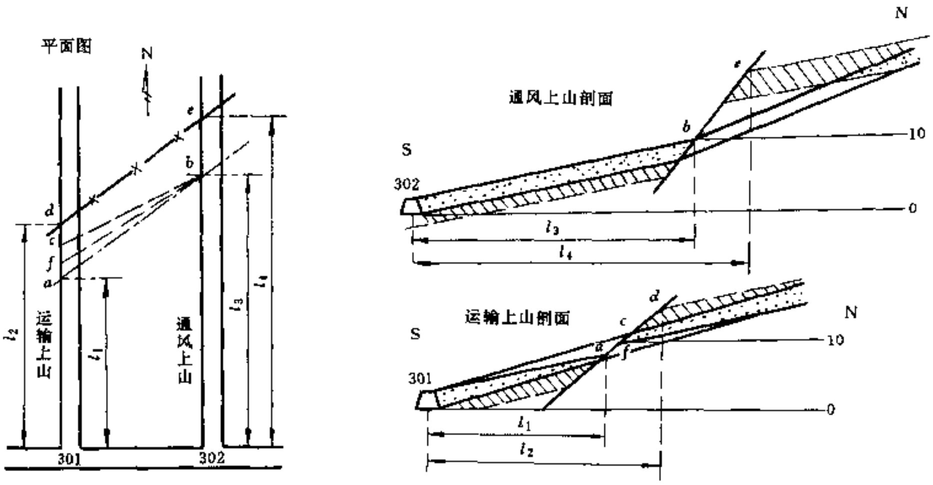


图 10－25　根据巷道剖面作断煤交线

3）断层面等高线法

在生产矿井中各主采煤层都具有编好的底板等高线图，因此只要编出断层面的等高线，并加以适当的修改，就可以作出断煤交面线。最常用的方法是利用巷道实测煤层断失点的产状资料编制断煤交线。如图10－26所示，在－150m顺槽中，见正断层上盘煤层断失点 $F_上$，实测煤层产状为158°∠30°，断层产状202°∠45°，垂直断层走向方向的落差为17m，要

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

求根据测定的产状作断煤交线并推测－200m 水平见断层的位置。其具体作法如下：

（1）作煤层与断层面等高线。通过断失点 $F_{上}$ 按煤层和断层走向作－150m 的煤层和断层面等高线，然后利用相同的等高距（此处为 50m）为对边，根据煤层倾角（30°）和断层倾角（45°）分别作两直角三角形△*ABC*、△*DBC*，则三角形的底边 *AC* 和 *DC* 就分别代表煤层和断层等高线的平距。用此平距再根据煤层和断层的倾向分别作出－200m 的煤层与断层面等高线。若－200m 的水平顺槽已开始掘进，在正常情况下，巷道的方向就是－200m 煤层等高线。

（2）连接上、下盘断煤交线。煤层和断层面相同标高等高线的交点 $F'_{上}$ 与 $F'_{上}$ 的连线即为上盘断煤交线。要绘制下盘断煤交线必需了解断层的落差和位移方向。通过作垂直断层倾向辅助剖面，求垂直断层走向方向的水平断距 l，详见图 10－26 下辅助剖面。根据水平断距 l 可求下盘断煤交线。

（3）通过下盘断煤交线与断层面等高线的交点 a、b 作煤层走向的平行线，即是下盘煤层－150m、－200m 等高线。

此外，在生产过程中，还可以利用岩巷揭露资料、上部煤层中的断层资料及两水平切面图上的资料绘制断煤交线。

三、各种地质现象在煤层底板等高线图上的表现

（一）单斜构造

单斜构造在图上一般反映为一组直线，当煤层走向与倾角不变，等高线大致平行而均匀；如果倾角有变化，则等高线疏密不均，且等高线越密煤层倾角越大；如走向发生变

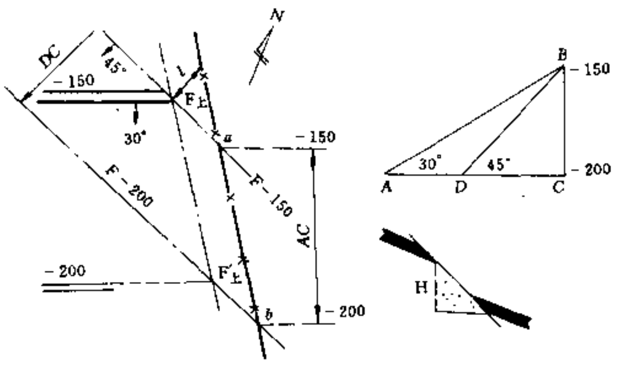


图 10－26　用断层面等高线作断煤交线

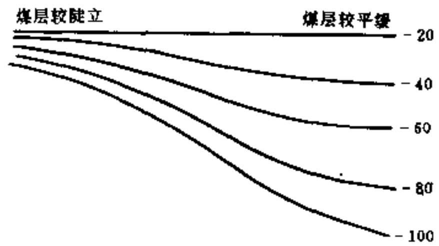


图 10－27　煤层沿走向倾角发生变化时的煤层底板等高线

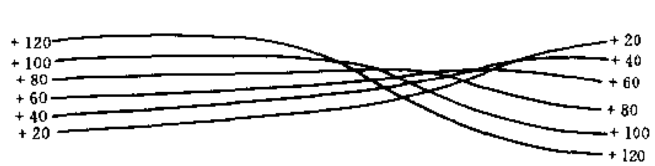


图 10－28　地层倒转使煤层底板等高线发生交叉现象

化，则等高线成为一组曲线（图10—27）；当煤层产状发生倒转时，煤层底板等高线表现为不同标高的等高线交叉（图10—28）。

（二）褶曲构造

1. 向斜构造

向斜构造在煤层底板等高线上呈现一组封闭或半封闭的曲线。向斜两翼等高线对应出现，靠近向斜轴的煤层底板标高相对较低；远离向斜轴的相对较高（图10—29）。

2. 背斜构造

底板等高线与向斜类似，但等高线的标高靠近背斜轴的较高，远离背斜轴的较低（图10—30）。

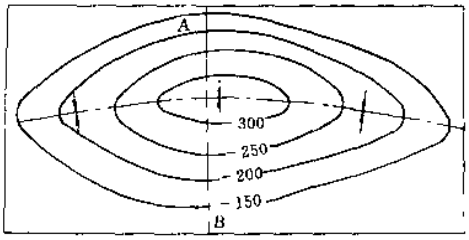


图10—29 向斜在煤层底板等高线图上的表现

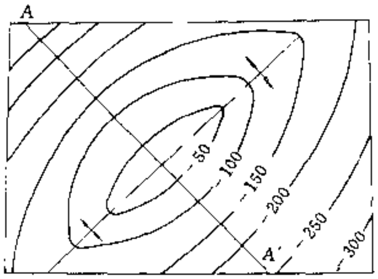


图10—30 背斜在煤层底板等高线图上的表现

3. 倾伏褶曲

一般当褶曲出现倾伏时，等高线的转折点的连线为褶曲的枢纽线，此时可以通过等高线的特征识别背斜或向斜。一般等高线向低标高凸的为背斜构造；等高线向高标高凸的为向斜构造（图10—31）。

（三）断层

煤层受地质构造的影响发生断裂时，断层把煤层切断并使其发生位移，其底板不再是

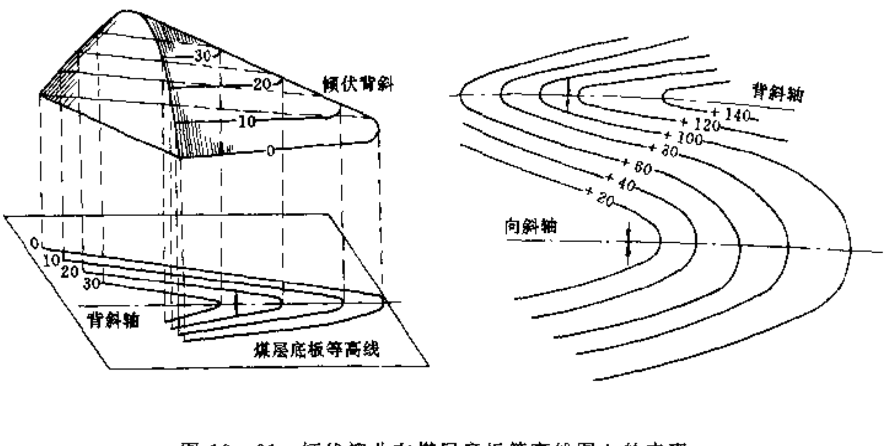


图10—31 倾伏褶曲在煤层底板等高线图上的表现

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

连续的面，等高线在断层处中断而不连续。在地质上将上盘煤层与断层面的交线称之为上盘断煤交线，在煤层底板等高线图上用“—·—·—”点线符号表示；下盘煤层与断层面的交线称下盘断煤交线，用“—×—×—”叉线符号表示。

在一般情况下（除断层倾角小于煤层倾角外），当遇见正断层时煤层底板等高线在图上为中断，在上、下盘断煤交线之间没有等高线通过，表示煤层缺失（图 10—32*a*）；当煤层遇到逆断层时，底板等高线在图上表现为中断，上、下盘断煤交线之间互有等高线通过，表示煤层重复（图 10—32*b*）。

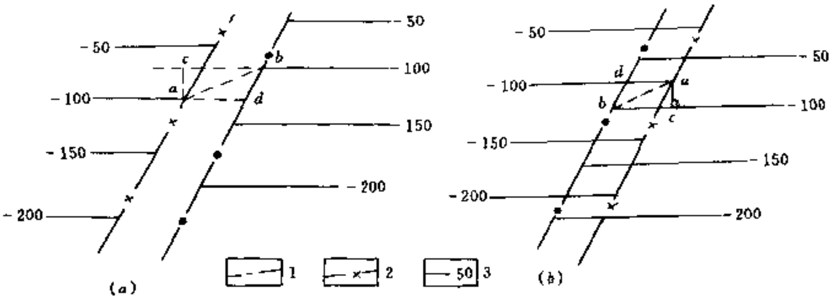


图 10—32　断层在煤层底板等高线图的表现

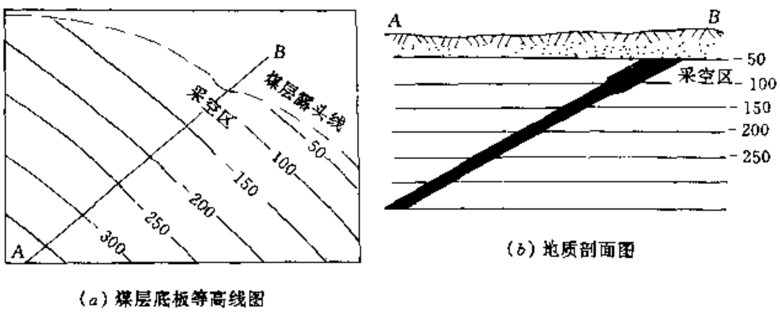
（*a*）正断层；（*b*）逆断层

1—断层上盘与煤层的交面线；2—断层下盘与煤层的交面线；3—煤层底板等高线

（四）其它

1. 遇露头线与采空区

在地面或基岩露头线以外，煤层因侵蚀而不存在，因此煤层底板等高线遇露头线发生中断。底板等高线遇到采空区时，因采空区无煤可采，同样也发生中断（图 10—33）。



（*a*）煤层底板等高线图　（*b*）地质剖面图

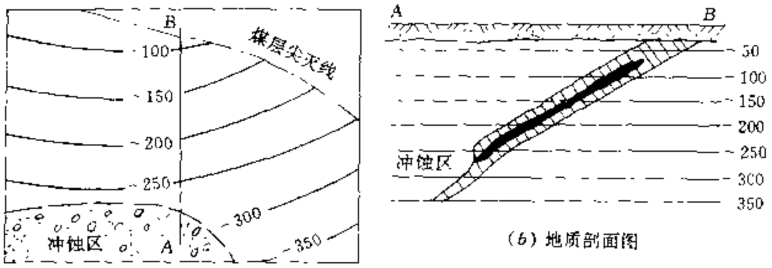
图 10—33　煤层底板等高线遇露头线和采空区时的表现

2. 煤层尖灭和被冲蚀

当煤层发生尖灭，尖灭线以外煤层不存在，底板等高线中断；当煤层被冲蚀，冲蚀区被碎屑岩所代替，底板等高线中断（见图 10—34）。

3. 遇火成岩侵入和喀斯特陷落柱

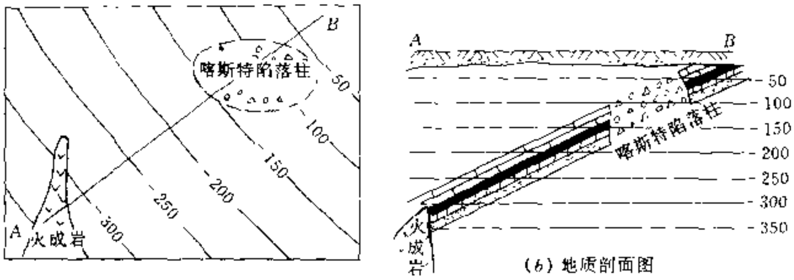
火成岩侵入和喀斯特陷落柱都能形成相当大的无煤区，这种无煤区的界线也含将底板



（a）煤层底板等高线图

（b）地质剖面图

图 10—34 煤层底板等高线遇煤层尖灭和冲蚀时的表现



（a）煤层底板等高线图

（b）地质剖面图

图 10—35 煤层底板等高线遇喀斯特陷落柱或火成岩体时的表现

等高线切断（图 10—35）。

在煤矿生产过程中，为了更明确地反映煤层基本形态，有时在采空区、火成岩侵入、冲蚀和喀斯特陷落柱等引起煤层缺失的地段，用虚线表示煤层等高线。

四、煤层底板等高线图的应用

在地质勘探、矿井设计、矿井建设和井田开采的各个阶段，有很多工作都离不开煤层底板等高线图，因此煤层底板等高线图编制和利用的程度，在一定程度上影响到井田开发能不能顺利进行。

（一）地质勘探阶段

利用煤层底板等高线图可以了解煤层在空间的立体形态，掌握煤层产状和地质构造变化，并能够作为勘探工程布置、储量计算以及进一步勘探设计的重要依据。

1．储量计算

煤层底板等高线即能如实反映煤层形态和变化，同时又大致是水平煤巷的实际位置，故一般常利用煤层底板等高线图来计算储量。利用等高线图计算储量，不但能对煤层分布情况有比较清楚的了解，而且还能将划分出来的每一块段或条带与煤层产状在形态上有机地联系起来，作为矿井设计的重要依据。

2．编制勘探设计

在普查或详查工作终了时，往往还需要进一步详查或精查勘探，这样就需要在普查或

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

详查资料的基础上，进一步编制详查或精查的勘探设计。勘探设计所需要勘探工程量，主要是根据对煤层底板等高线的控制程度，特别是对构造和煤层厚度变化的控制程度而定。

（二）矿井设计及建设阶段

煤层底板等高线图在矿井设计及建设阶段也是较重要的图件。井型较大的矿井，要根据储量分布特点来确定井筒布置是否合理。如某一井田煤层形态为一个背斜（图 10—36），初期开采水平的储量，A 翼多于 B 翼。为了使两翼储量开采均衡，井筒不应设计在井田中央 O 处，而应设计在偏于 A 翼的 C 处；否则，两翼储量开采不均匀，即使能够采取打斜石门等措施加以补救，也会造成不应有的损失。

此外，煤层底板等高线图还可作为铁路、工业广场等预留煤柱的底图，有时也可作为布置通风、运输、排水系统的参考图件。

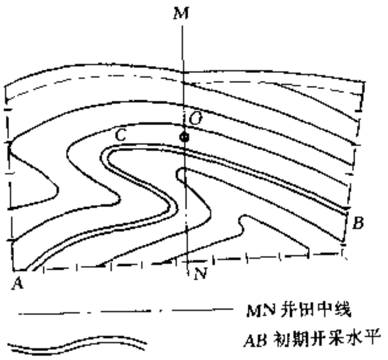


图 10 36 井筒位置的选择

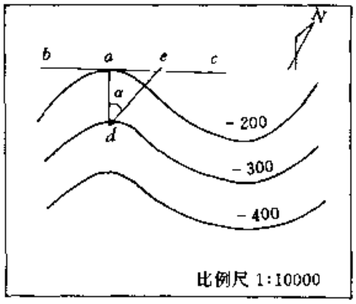


图 10—37 煤层底板等高线图上求煤层产状

（三）井田开采阶段

1. 利用煤层底板等高线图求煤层的产状

在煤层底板等高线图上确定煤层产状方法如下（图 10—37）：

（1）走向　由底板等高线性质可知，等高线上任一点的切线方向即为该点处煤层的走向。如过 a 点作 -200m 等高线的切线得 bc，bc 线为煤层在该点的走向线。

（2）倾向　过 a 点作 bc 的垂线交 -300m 等高线于 d，则 ad 方向为该点煤层的倾向。

（3）倾角　选择具有代表的等高线（如 -200m 及 -300m 等高线），其法线距离为 ad，由 a 点按比例尺截取 ae，使 $ae=$（a 点高程值$-d$ 点高程值）×比例尺（m），连接 de，则 $\angle\alpha$ 为该地段煤层的倾角。即

$$\mathrm{tg}\alpha=\frac{ae}{ad}$$

式中　ae——a 点到 d 点高程值之差；

ad——a，d 点间的水平距离。

2. 利用煤层底板等高线图求断层的产状及断距

（1）断层面的产状　在煤层底板等高线图上求断层面产状方法如下（图 10—38）。

走向　连接上下盘同标高的断煤交点 EF 及 GH 为断层面的走向线。

倾向　过 F 点作 EF 线的垂线交 GH 于 Z，则 FZ 方向为倾向。

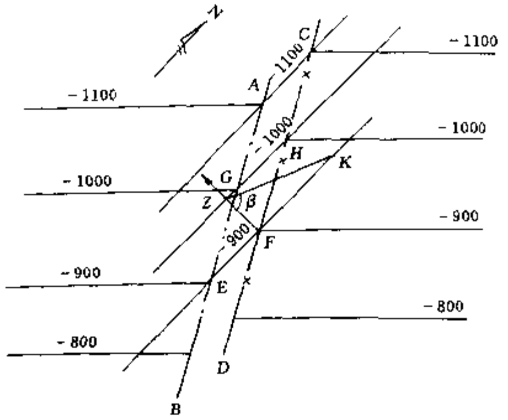


图 10—38 煤层底板等高线图上求断层产状

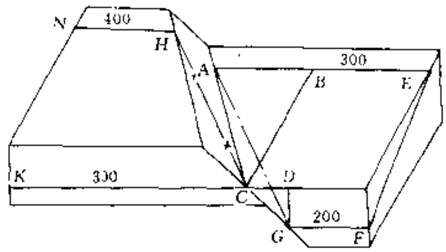


图 10—39 煤层底板等高线图上的断距

AC- 走向断距；BC- 水平地层断距；

DG 铅直地层断距

倾角 GH 及 EF 为断层面的两条等高线。其倾角的求法与煤层底板等高线图上求煤层倾角相同。

(2) 断距 目前在煤层底板等高线图上确定的断距主要有落差、水平地层断距和铅垂地层断距。图 10—39 中 AEFG 表示上盘煤层的层面，其中 AE 和 GF 分别表示断层上盘 300m 和 200m 煤层等高线。NHCK 表示下盘煤层的层面，NH 和 KC 分别表示断层下盘 400m 和 300m 煤层等高线。AG 和 HC 分别表示上盘煤层和下盘煤层与断层面的交线。BC 为同一煤层面在水平方向上断层上下盘间错开的距离，称为水平错开。AC 为断层走向方向的断距。DG 为同一煤层面上、下盘之间沿煤层走向上的落差。

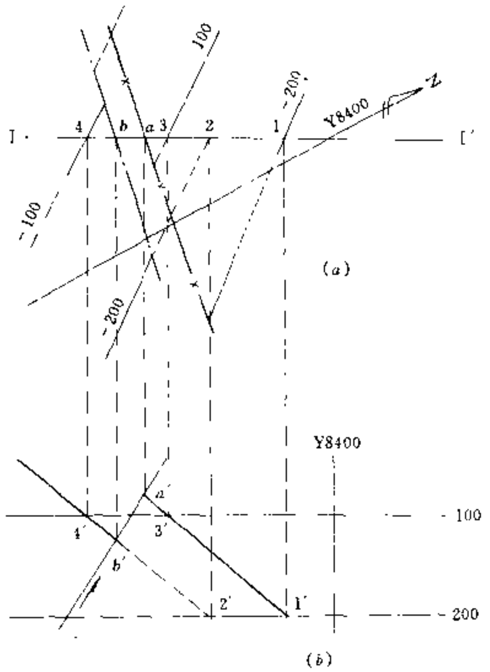


图 10—40 根据煤层底板等高线图编制剖面图

(a) 平面图；(b) I — I′剖面图

现以图 10—32 为例，说明各断距在图上的求法。首先作断层面等高线 ab(—100)，a、b 间的距离为走向断距。通过 a 点 (—100m) 作断层上盘—100m 煤层等高线的垂线 ac，a、c 之间的法线距离为水平地层断距。从—100m等高线下盘交面线的 a 点延长交于上盘交面线的 d 点，则 a、d 两点的标高差分别为：$H_{正}=(-100)-(-130)=30m$，$H_{逆}=(-100)-(-70)=-30(m)$，即落差为 30m。

3. 利用煤层底板等高线图编制地质剖面图

煤矿开采阶段，大量的地质资料都反映在煤层底板等高线图上。在生产过程中，常利用煤层等高线图绘制地质剖面图，以此作为巷道设计的预测图、或利用煤层底板等高线图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

来修改地质剖面图。

现以图 10—40 为例，说明利用底板等高线图编制剖面图的方法。

(1) 图中煤层底板等高线与 Ⅰ — Ⅰ′剖面线交于 1、2、3、4 各点，按其位置和高程分别直接投影到图 Ⅰ — Ⅰ′剖面中得 1′、2′、3′、4′各点。其中，1′、3′点为断层下盘煤层与剖面线的交点；4′点为断层上盘煤层与剖面线的交点；2′点为断层上盘－200m 标高煤层沿走向延长线与剖面线的交点。

(2) 将剖面线与断煤交线上的交点 a、b 用内插法求出 a、b 点的高程，再用投影法分别投影到 Ⅰ — Ⅰ′剖面图中去，得 a'、b'点。

(3) 在 Ⅰ — Ⅰ′剖面图中，连接 a'、b'点即为断层线；连接 1′、3′点，即为断层下盘的煤层线；连接 2′、4′点即为断层上盘的煤层线。

此外煤层底板等高线图还可以作为回采工作面设计依据。在矿井地质研究过程中，常用底板等高线图作为编制分析图件的底图。

第五节　煤层立面投影图

一、煤层立面投影图的概念、内容及作用

煤层立面投影图与底板等高线图一样属投影图，它是将煤层底板高程线、断煤交线、井巷工程等投影到竖直面（立面），因此又简称立面图。开采急倾斜煤层时因煤层陡立，采用平面投影时，往往造成等高线密集和巷道重叠，给识图、图上注记及填绘资料带来困难，所以必须借助于竖直面（立面）投影的方法，编制煤层立面投影图，以反映煤层的构造及开采情况，弥补平面图的不足。立面图也是急倾斜煤层储量计算的基础图件。图中内容与煤层底板等高线图基本相同。

二、煤层立面投影图的原理及特点

（一）立面投影图的基本原理

立面投影图是采用正射标高投影，投影面为竖直面，投影线为垂直于竖直面的一组水平线。

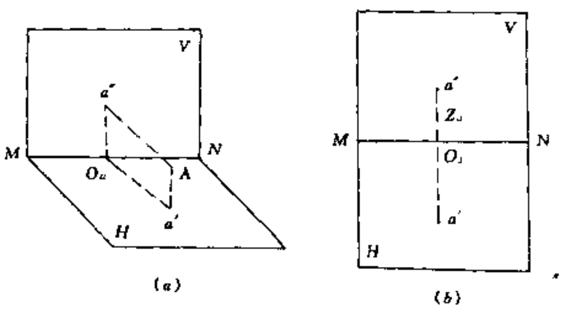


图 10—41　两面投影示意图

(a) 立体透视图；(b) 立面与水平面投影关系图

如图 10—41 所示，V 为竖直投影面，H 为水平投影面，两面垂直相交，其交线 MN 为投影轴。空间任一点 A，由 A 点向 H 面和 V 面作垂线，与 H 面的交点 a'为 A 点的水平面投影，与 V 面的交点 a''为 A 点竖直投影。为了便于绘图和度量，将 V 面绕 MN 轴旋转到水平位置，把立体示意图转变为两面投影图。

由几何关系证明：$a'a'' \perp MN$，$Aa' = a''O_a = Z_a$（A 点距水平的高程）。因此，只要已知 A 点的水平面投影 a'和 A 点的标高 Z_a，即可绘出 A 点的竖直面投影 a''。具体绘图步骤如下：

(1) 在水平面图上，由 a' 点作 MN 的垂线，交 MN 于 O_a 点。

(2) 在竖直面图上，过 O_a 点作 MN 的垂线，在垂线上截取 Z_a 得 a'' 点，a'' 即为 A 点的竖直面投影。

（二）煤层立面投影图的特点

煤层立面投影图与煤层底板等高线图表示的内容、采用的比例尺及用途基本相同，但是，由于投影面不同，煤层立面投影图具有如下特点：

(1) 在煤层立面投影图上，煤层走向线均为水平直线，不能反映煤层沿走向和倾向的产状变化。

(2) 在煤层立面投影图上，断层一般由两条断煤交线表示，只有当断层面垂直于投影轴或煤层走向时，两条断煤交线的投影才会重合为一。另外，煤层立面投影图不能反映断层的产状及断距大小。

(3) 在煤层立面投影图上，没有经纬线和指北线，但应标明竖直投影面的走向方位。

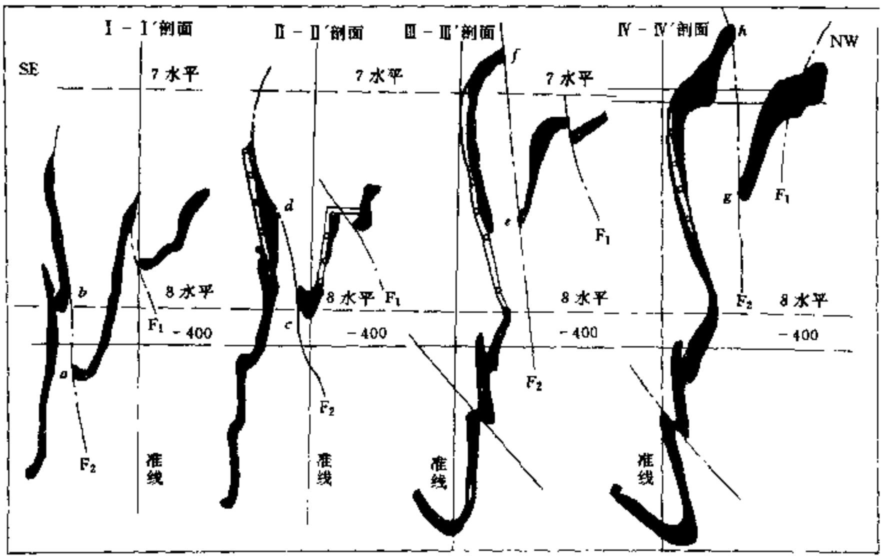
三、煤层立面投影图的编制方法

煤层立面投影图以采掘工程立面投影图为底图。在生产矿井，煤层立面投影图的编图资料一般来自于煤层平面投影图、水平切面图和垂直投影轴的地质剖面图。现以图 10－42 为例，介绍根据地质剖面图编制煤层立面投影图的方法和步骤。

（一）确定投影轴的方向和标高

煤层立面投影图的竖直投影面应该与编图地区的构造线或煤层走向线总体平行。由于投影轴为竖直投影面上的一条走向线，因此投影轴的方向也应平行于编图范围的煤层总体走向。这样选取投影面和投影轴，可使煤层沿走向方向的投影长度基本保持一致。此外，投影轴的标高应低于编图范围内煤层的最低标高，以便用投影轴分开平面投影图和立面投影图。

（二）绘制水平标高线



(a)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

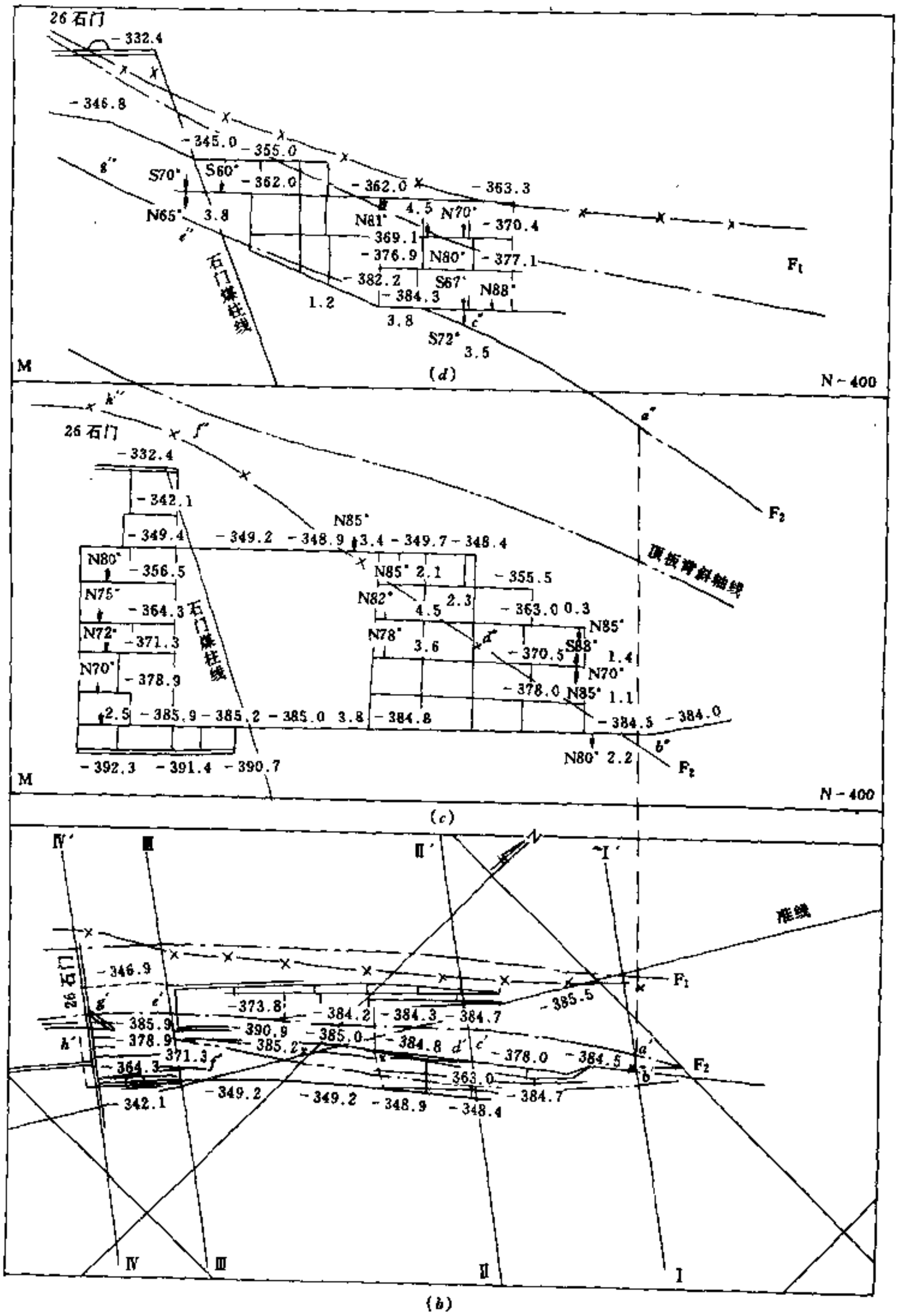


图 10—42 根据剖面图编制立面图

(a) 剖面图；(b) 平面投影图；(c) F_2 下盘煤层立面图；(d) F_2 上盘煤层立面图

根据已确定的投影轴标高、地质剖面图上等高线的间距、以及立面投影图的比例尺，绘制煤层立面投影图的水平标高线。

（三）投绘各种地质点

采用垂直投影轴的地质剖面图编绘立面投影图时，首先应在立面投影图上标出剖面图的投影线。然后将剖面图上的各种地质点，按其标高逐个投影到立面投影图上对应的剖面投影线上。不垂直于投影轴的地质剖面图，因其在立面投影图上的投影不是--条易于确定的直线，而是一个面，故不能直接用来编制立面投影图。

（四）连接各种地质界线

对投影到立面投影图上的各种地质点，应通过分析和对比、将断煤交线、褶曲枢纽线、煤层露头线、煤层风氧化界线和可采边界线等合理连接起来。

第六节　其　它　图　件

一、地层综合柱状图

将工作区所见的地层，根据其岩性、厚度及间距等，按先后次序自上而下综合成柱状，称之地层综合柱状图（图 10—43）。

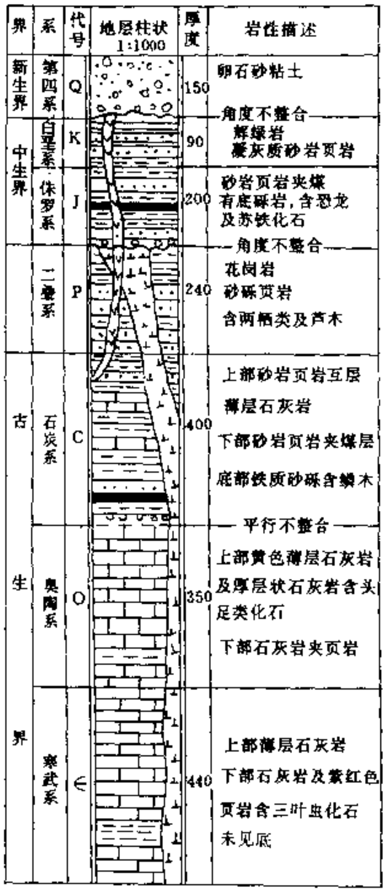


图 10-43　地层综合柱状图

地层综合柱状图主要反映工作区的地质时代、各地层的厚度、岩性及煤层等情况。比例尺一般为 1∶200～1∶1 000，对标志层、煤层要适当放大比例。其图中内容包括地层单位、岩性柱状、地层厚度、岩性描述等。

地层综合柱状图是在地层及煤岩层详细对比的基础上，经过大量的原始数据的统计和综合而绘制出来的。在原始资料统计时，必须排除断层的影响，也不要把原生沉积变化误认为有断层通过。

地层综合柱状图的编图方法比较简单，首先确定柱状图的比例尺，然后按一定的格式画好图头，从下到上，由老到新将地层单位、岩性柱状、地层或煤岩层厚度、岩性描述等项逐一填入有关栏内。在编图时应注意：①岩性柱状要用规定的符号表示；②如有不整合面或假整合面出现，要在岩性柱状图中表现出来；③煤岩层的厚度一般要采用平均值，为了了解煤岩层厚度的变化情况，可将它的极值（最大值及最小值）写在厚度栏内；④岩性描述应尽可能详细，并将标准化石或常见化石列出。

二、煤岩层对比图

将各种勘探工程所见到的煤岩层作成小柱状图，并选择其中主要煤层或标志层的底板为基准线，进行连线对比，称之为煤岩层对比图（图 10—44）。

1. 选择基准线

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

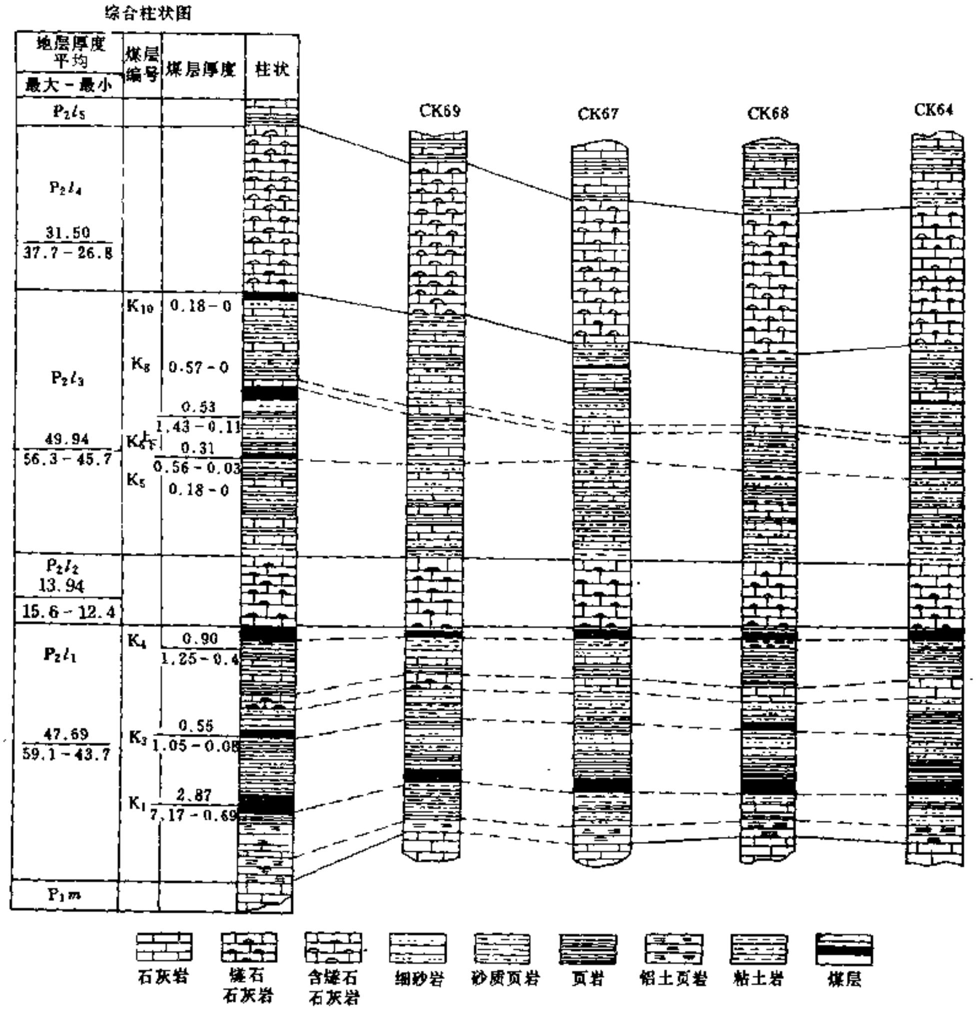


图 10—44 煤岩层对比图

以工作区分布较广且层位稳定的煤层或标志层为基准线，把基准线画成水平线，且尽量将基准线选择在煤系中部。

2. 作小柱状图

以基准线为标准，按一定的顺序将小柱状排好。一般煤岩层对比图的水平比例尺应小于垂直比例尺（图 10—44），生产矿井常用的水平比例尺为 1∶5 000 或 1∶10 000，垂直比例尺为 1∶250 或 1∶500。小柱状的宽度在 0.8 至 1cm 之间，当有断层出现时，应把重复或缺失的层段标出来。

3. 确定连线的层位

把所有小柱状画好后，对煤层厚度、煤层特征、煤层层间距、岩性、岩相、古生物等进行分析研究，初步确定连线的层位。

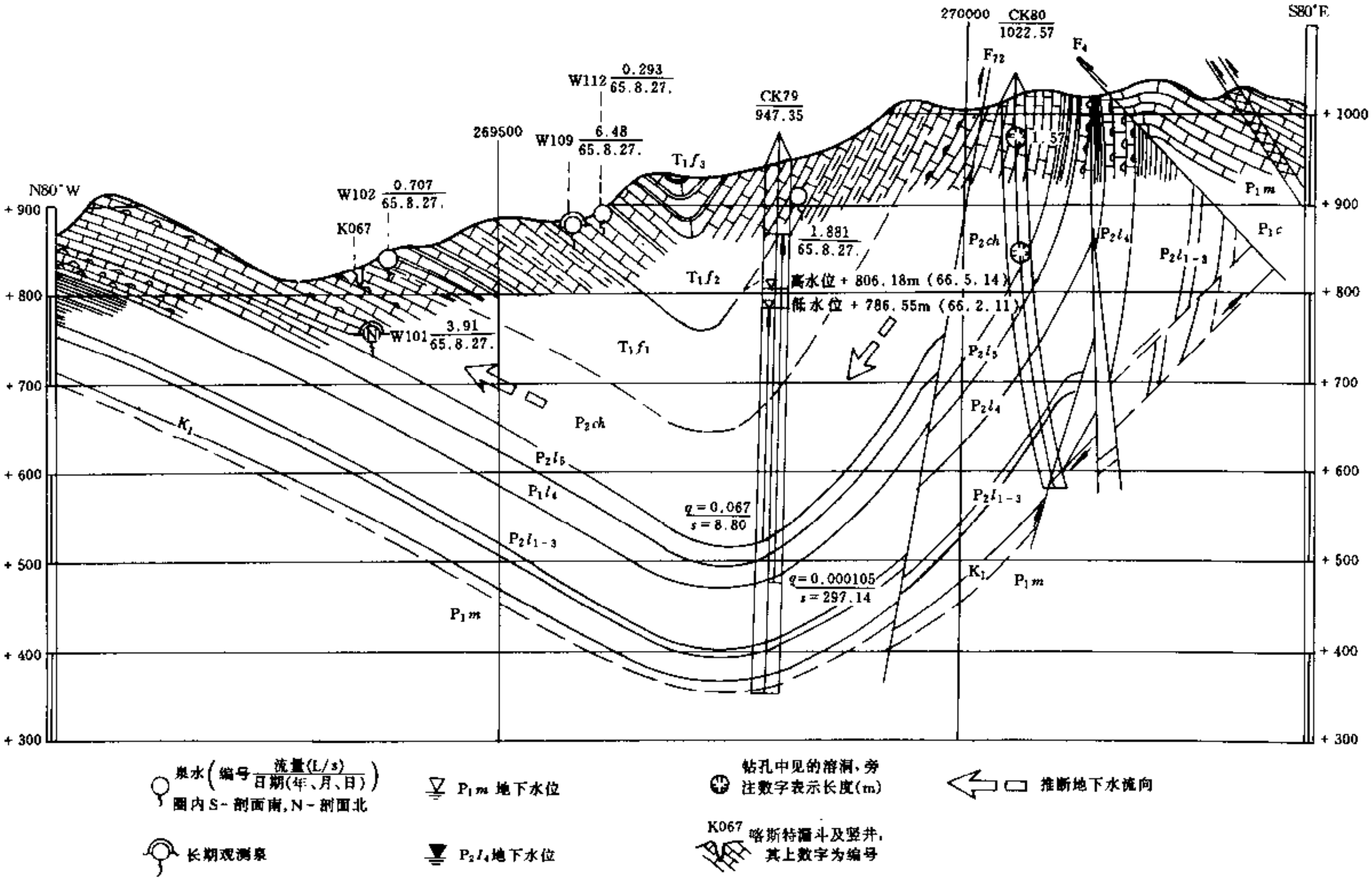


图 10－45　水文地质剖面图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4. 连线

先将大的地层界线、含煤组段界线、主要煤层及标志层连起来，然后再连其它煤岩层界线。

三、水文地质图

生产矿井最常见的水文地质图有充水性平面图、矿井富水性图、水文地质剖面图。其中，水文地质剖面图除反映地质情况外，还应反映许多水文地质内容，例如含水层的分布、地下水的水位、地下水的流向、泉和溶洞的分布及必要的抽水资料等（图 10—45）。

第十一章　矿井储量管理

矿井储量是指矿井井田边界范围内，通过地质手段查明的符合国家煤炭储量计算标准的全部储量．又称矿井总储量。它不仅反映了煤炭资源的埋藏量，还表示了煤炭的质量、勘探程度及开采经济、技术条件。

井田精查地质报告提供的储量资料是矿井储量管理的基础，但在矿井建设和采掘生产过程中，储量是不断变化的。矿井储量管理就是要按规定正确测定和及时统计储量动态，设法扩大矿井储量，分析储量损失原因，为矿井建设、生产和正常接替提供依据，并及时提出合理开采和利用煤炭资源的意见，监督矿产资源的合理开发和合理利用。因此，矿井储量管理是矿井生产管理的重要组成部分。其主要工作内容有：定期进行分煤层、分水平、分煤种及不同开采技术条件各级储量的计算和汇总；"三量"的划分和计算；产量测定和统计；损失量统计及分析；储量动态分析及矿产储量表的编制等。

第一节　矿井储量的分类和特点

一、矿井储量的分类

根据国家能源政策和煤炭资源状况及开采经济、技术条件，矿井储量可划分为若干类型（见第九章第二节）。对于能利用储量、暂不能利用储量、工业储量（A+B+C级储量）、远景储量（D级储量）的含义，以及储量级别划分和各级储量应达到的地质研究程度等内容已在第九章作了介绍，现仅对矿井储量管理中还常用到的其它概念简介如下：

可采储量　指工业储量中预计可采出的储量。

设计损失量　指为了保证采掘生产的安全进行，在矿井（或采区、工作面）设计中，根据国家技术政策规定，允许丢失在地下的能利用储量。它与煤层赋存条件、采煤方法等有关。

可采储量、设计损失量与工业储量三者间的关系为：

$$T=(I-P)K \quad (1-1)$$

式中　T——可采储量，万t；

I——工业储量，万t；

P——设计损失量，它包括保安煤柱、隔离煤柱以及因地质构造、水文地质条件等不能开采的煤量，万t；

K——设计采区采出率。

二、矿井储量的特点

与勘探阶段提交的储量相比，矿井储量具如下特点：

(1) 随着采掘工程及生产勘探的不断进展，地质揭露点增多，会进一步查清煤层赋存状态，还可能探查出新的储量，使矿井储量发生数量和级别的动态变化。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（2）用于矿井储量计算的煤层厚度、煤层面积、煤的视密度等基本参数更为可靠，计算的准确性相对提高。

（3）矿井储量计算的圈级和块段划分，除要符合煤炭资源地质勘探规范外，还要便于矿井“三量”管理。

（4）矿井储量要反映采掘过程中，由于安全、地质及水文地质和生产等原因而发生的各种煤量损失，要对矿井储量进行统计分析。

第二节　矿井三量管理

一、三量管理的意义

矿井生产的准备工作包括水平开拓、采区准备和开切工作面三个阶段。在一个生产水平、采区或工作面采完之前，必须准备好下一个接替水平、采区或工作面，否则就不能保证矿井生产的正常进行，造成产量下降甚至生产停顿。因此，在矿井生产中把握回采和掘进相对平衡十分重要。在开拓、采区准备和回采工作面开切阶段掘进的巷道分别称为开拓巷道、准备巷道和回采巷道，面由这三种巷道圈定和构成的可采储量分别称为开拓煤量、准备煤量和回采煤量，简称三量。通常用三量来反映矿井采掘工程效果、生产准备情况和采掘关系。所以，搞好三量管理是保证矿井生产正常接续、稳产高产的重要环节。

二、三量的划分和计算

由于各矿井地质条件不同，使开拓方式、开采方法不同，三量的划分方法也不尽相同。现以斜井分区式开拓，采区前进、工作面后退的开采方法为例，说明三量的划分（图11－1）和计算。

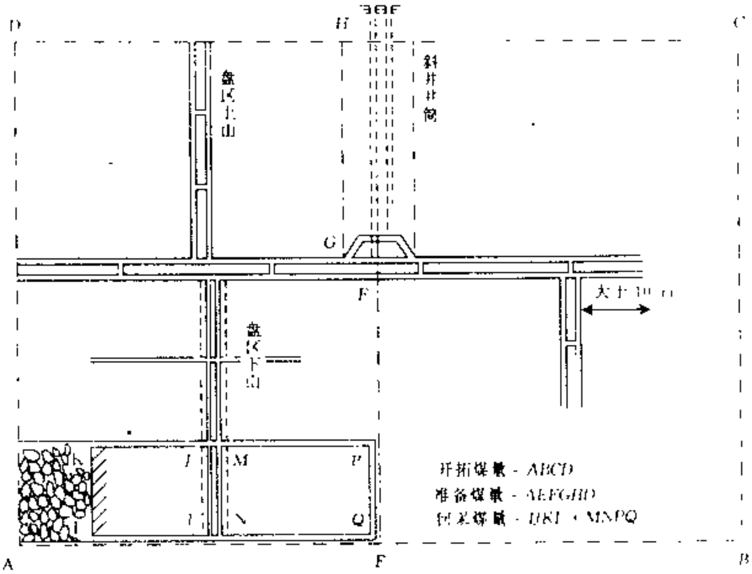


图 11－1　三量划分示意图

（一）开拓煤量

在矿井可采储量范围内已完成设计规定的主井、副井、风井、井底车场、主要石门、集中运输大巷、集中下山、主要溜煤眼和必要的总回风巷等开拓掘进工程所构成的煤储量，并减去开拓区内地质及水文地质损失、设计损失和开拓煤量可采期内不能回采的临时煤柱及其它煤量后，即为开拓煤量。其计算公式为：

$$Q_{开}=（L\bar{h}\bar{M}D-Q_{地损}-Q_{呆滞}）K \tag{11-2}$$

式中 $Q_{开}$——开拓煤量，t；

L——煤层两翼已开拓的走向长度，m；

$\bar{h}$——采区平均倾斜长，m；

$\bar{M}$——开拓区煤层平均厚度，m；

D——煤的视密度，t/m^3；

$Q_{地损}$——地质及水文地质损失，t；

$Q_{呆滞}$——呆滞煤量，包括永久煤柱的可回采部分和开拓煤量可采期内不能开采的临时煤柱及其它煤量，t；

K——采区采出率。

（二）准备煤量

在开拓煤量范围内已完成了设计规定所必须的采区运输巷、采区回风巷及采区上（下）山等掘进工程所构成的煤储量，并减去采区内地质及水文地质损失、开采损失及准备煤量可采期内不能开采的煤量后，即为准备煤量。其计算公式为：

$$Q_{准}=（Lh\bar{M}D-Q_{地损}-Q_{呆滞}）K \tag{11-3}$$

式中 $Q_{准}$——准备煤量，t；

L——采区走向长度，m；

h——采区倾斜长度，m；

$\bar{M}$——采区煤层平均厚度，m。

在一个采区内，必须掘进的准备巷道尚未掘成之前，该采区的储量不应算作准备煤量。

（三）回采煤量

在准备煤量范围内，按设计完成了采区中间巷道（工作面运输巷、回风巷）和回采工作面开切眼等巷道掘进工程后所构成的煤储量，即只要安装设备后，便可进行正式回采的煤量。其计算公式为：

$$Q_{回}=LhMDK \tag{11-4}$$

式中 $Q_{回}$——回采煤量，t；

L——工作面走向可采长度，m；

h——工作面倾斜可采长度，m；

M——设计采高或采厚，m；

K——工作面回采率。

上述各煤量的计算公式，仅适用于较稳定煤层。若煤层不稳定，厚度变化较大时，应依具体情况划分块段分别计算煤储量后求和。

三、三量可采期

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

三量可采期是根据掘进和回采进度分别计算出的三个煤量可供开采利用的期限。要求在相应时期内，掘进工程构成的煤量达到生产接替所需资源准备的最佳状态。所以，三量可采期是矿井生产中平衡采掘接替关系的一个重要技术经济指标。

（一）三量可采期的规定

为了使资源准备在时间上可靠，经济上合理，煤炭工业技术政策对大、中型矿井原则规定的三量合理可采期为：

开拓煤量可采 3～5a 以上；准备煤量可采 1a 以上；回采煤量可采 4～6 个月以上。

一般情况下，矿井的三量可采期达到上述要求，便可实现采掘平衡。否则，就会造成采掘失调，影响正常接替。但若可采期过长，则造成掘成的巷道闲置不用，使设备、资金积压，且增加巷道维修费用。

（二）三量可采期的计算

三量可采期的计算公式分别为：

$$\text{开拓煤量可采期(a)}=\frac{\text{期末开拓煤量(万 t)}}{\text{年设计生产能力或当年计划产量(万 t/a)}} \tag{11-5}$$

$$\text{准备煤量可采期(月)}=\frac{\text{期末准备煤量(万 t)}}{\text{平均月设计能力或当年平均月计划产量(万 t/月)}} \tag{11-6}$$

$$\text{回采煤量可采期(月)}=\frac{\text{期末回采煤量(万 t)}}{\text{当年平均月计划回采产量(万 t/月)}} \tag{11-7}$$

式中　期末开拓煤量＝生产采区残存煤量＋备用采区煤量＋准备采区煤量；

期末准备煤量＝生产采区残存煤量＋备用采区煤量；

期末回采煤量＝现采工作面残存煤量＋备用工作面煤量。

在开拓煤量和准备煤量可采期计算时，若年计划产量超过设计能力，用计划产量；若年计划产量未达到设计能力，则采用设计能力。未审定能力的矿井可按计划产量计算可采期。衰老矿井可按每年计划产量计算可采期。

（三）三量的合理可采期

我国地域辽阔，各矿区或矿井均有各自的具体情况，造成有些矿井三量可采期达到甚至略超出规定的要求，还常出现采掘接替紧张的被动局面；而有些矿井三量可采期即使略小于规定的要求，仍有巷道长时闲置的现象。因此，每个矿区或矿井都需要根据实际情况，研究并具体确定适应自己特点的三量合理可采期。

影响三量合理可采期的因素很多，主要有：

1．矿井地质条件

如果矿井地质构造复杂或断层密集，虽然掘进了大量巷道，但可采区段较少，这就要求三量可采期应适当增加；如果矿井开采煤层多、煤层厚度大且层间距小，在确定三量合理可采期时，就需特别注意开采程序和生产条件的限制，留有适当储备。

2．井型和采区布局

对于大型矿井，水平阶段大，开拓工程量也大，尤其是在产量递增期，开拓工程量可能更大；而一些中、小型矿井，开拓工程量就较少。三量合理可采期确定时要注意开拓、准备周期的长短。

3．开拓方式和开采方法

不同的开拓方式和开采方法，巷道布置及掘进工程量是不同的。如当缓倾斜煤层用倾

斜长壁采煤法时，可上、下山同时布置采区，掘进工程量可减少约20%，回采煤量常要超过规定。

4. 机械化程度

机械化程度直接影响掘进和回采的速度。如高档普采或综采工作面推进速度快，但其准备周期也稍长。

总之，由于矿井采掘生产是动态进展的，所以每个矿井都应弄清不同生产时期、区段影响采掘生产协调推进的主要因素，依据历年的实际资料，在综合分析研究的基础上，选择数理统计、类比和经验公式等方法确定三量的合理可采期，以便使矿井采掘接替处于既经济又合理的最佳状态。

四、三量的统计与分析

为了及时掌握三量的动态变化，反映生产准备程度及采掘关系，矿井生产中要按规定定期对三量及其可采期进行统计和分析，以利于矿井生产的正常接续和有序管理。

三量的统计与分析是通过绘制和填报相应的图、表、台帐及文字说明来完成的。其中主要有三量计算图、月末三个煤量动态报表、矿井（露天）期末三个煤量季（年）报等。

（一）三量计算图

三量计算图是三量计算、统计和分析的基础图件。它以分煤层采掘工程平面图或储量计算图为底图，将三个煤量以及呆滞量、损失量等和分年度的已采区用不同线条、颜色分别填绘在图上相应位置。三个煤量应分水平、分采区、分工作面编号；呆滞煤量块段应注明数量、呆滞时间及原因；地质及水文地质损失和注销等块段也应注明数量、原因及批准文号等。

（二）三量统计

按煤层、水平、采区和工作面分别计算三个煤量及其可采期，并填写相应报表、台帐。其中煤柱摊销不能遗漏或重复，并做到图、表一致。在三个煤量动态报表中，三量的增减应符合以下关系：

$$\text{期末结存煤量}=\text{期初原有煤量}-\text{期内采出煤量}+\text{期内新创煤量}\pm\text{期内由各种原因引起的煤量变化}$$

（三）三量的动态分析

三量动态分析应说明三量划分、计算和变动方面的问题。重点可放在4个方面。

(1) 期末三个煤量增减情况按期末完成各类巷道所圈出的三个煤量，说明三量的增减及其原因。三量不仅在数量上要满足要求，而且在分布上要符合开采程序，便于制订生产计划，以保证正常接替的需要。

(2) 根据生产计划说明三个煤量能否保证采掘接替，并对三量可采期进行分析和预测。

(3) 按工作面、采区、水平接替的要求，分析三量可靠程度和分布情况，研究生产环节中存在的问题。

(4) 针对采掘现状，研究矿井采掘设计和生产中，生产技术、地测和采掘等方面工作存在的问题，并提出合理化建议。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第三节　储量动态管理

储量动态管理旨在通过及时系统地统计矿井煤炭产量和损失量，掌握储量的动态变化，并对损失量和采出率进行全面分析，以便采取积极措施，最大限度地减少损失量，提高资源回收率。

一、储量的动用与损失

开采动用储量是指开采过程中已开采部分与永久煤柱已摊销部分储量的和，简称动用储量。它包括采出煤量和损失煤量两部分。

（一）煤炭产量的统计

矿井产量不仅是评价矿井规模、生产效率及计算吨煤成本的主要依据，也是检查矿产资源回收和损失程度，以及生产区、队生产任务完成情况的基本依据。产量统计方法有三种：生产统计、销售统计和采区丈量。

1. 生产统计

在出煤井口统计每班、每天出煤的提升车数，按矿车平均装载量算得每班、每天的产量。若矿车按采区作有标记，则可统计出各采区的产量。

2. 销售量和存煤量统计

根据发运销售煤量、自用煤量和煤仓、储煤场的盘存量统计矿井在一定时间内（月）的产量。煤场堆存煤量用剖面法或普通丈量法测算出煤堆体积再乘堆煤的视密度求得。堆煤视密度需定期进行专门测定。

3. 采区丈量

生产矿井每旬要对回采和掘进工作面进行验收丈量。丈量内容有回采工作面长度、推进度、煤层厚度、采高及浮煤厚度等；掘进工作面的断面、进度及煤层厚度等。然后把丈量、编录成果填绘到采掘工程平面图或其它专用图纸上，并计算出各采、掘工作面每旬的采出煤量，求和即得全矿每旬的产量。

以上三种方法统计出的产量常有出入，可相互检验和校核，其中以采区丈量获得的采出量最可靠。因此，在核实产量，计算采出率、损失量以及作储量动态分析时，都应以地测部门实测的数据为依据。

（二）矿井储量的损失

由于地质条件或目前开采技术水平、设计或生产管理等原因，矿井开采中丢失在地下不能再利用的那部分工业储量称为损失量（储量损失）。显然，为了矿井安全和生产的需要，储量损失是不可避免的，问题是怎样优化设计，尽可能地减少损失；怎样加强管理，以避免不合理损失的发生。

1. 损失量分类

矿井储量损失分为设计损失和实际损失两大类。根据损失量分析的不同要求，又可按损失发生的范围、原因和损失的形态等具体分类。

按损失发生的范围可分为工作面损失、采区损失和全矿井损失。

按损失的形态可分为面积损失、厚度损失和落煤损失。

按损失发生的原因可分为：①与采煤方法有关的损失；②由于不正确开采引起的损失；

③落煤损失；④地质及水文地质损失；⑤设计规定的永久煤柱损失；⑥开采技术条件达不到造成的损失。其中与采煤方法有关的损失是指采用某种采煤方法由于运输、通风、安全等因素而发生的损失，亦称开采损失；而由于地质与水文地质条件、设计规定的煤柱、受开采技术条件限制等因素造成的损失，又称为非开采损失。

（1）设计损失　是指根据煤层赋存条件采用不同开采方法，为保证安全、生产的需要，按开采设计规定允许丢失在地下的那部分储量，也称为合理损失。

设计损失的构成可表述为：

- 设计损失
  - 设计工作面损失
    - 设计规定的与采煤方法有关的损失
    - 落煤损失
  - 设计采区损失
    - 设计工作面损失
    - 设计规定的与采煤方法（采区巷道布置）有关的损失
  - 设计全矿井损失
    - 设计采区损失
    - 设计地质与水文地质损失
    - 设计全矿井永久煤柱损失

（2）实际损失　是指在开采过程中实际发生的全部各项损失量，包含合理损失和不合理损失两部分。实际损失的情况较复杂，一般分类可参见表11－1。

2. 损失量统计

损失量统计包括损失量测定和统计两个方面，它是矿井损失量分析的基础。

1）损失量测定

损失量测定是采区丈量的重要组成部分，一般按发生损失的形态进行测定。

（1）落煤损失测算　需测定落煤损失面积、浮煤平均厚度，并依定期测定的浮煤的视密度，计算出落煤损失量。不得估算或按设计规定套算。

（2）厚度损失测算　需同时丈量煤层厚度、采高、留顶丢底的煤厚等。依丢煤厚度、面积和煤的视密度算得工作面的厚度损失。

（3）面积损失测算　依据填绘了实测资料的采掘工程平面图或损失量计算图，利用丢煤面积、煤厚和煤的视密度算得。

2）损失量统计

损失量统计包括损失量计算图的填绘和填写损失量计算台帐。它是进行损失量综合分析、不同采煤方法损失率对比和填报矿井储量损失量表的基础。

（1）损失量计算图填绘　它以分煤层的采掘工程平面图或储量计算图为底图，用规定颜色、线条或标准填绘掘进月进尺、回采工作面月推采面积、丈量点实际煤层厚度、采高，各种煤柱的范围、名称、批准文号、日期、储量、摊销计算基础、数量，以及各采区、工作面的面积损失、厚度损失和落煤损失的范围、数量，厚度损失柱状，储量注销、报损、地质及水文地质损失的范围、数量、批准文号等。对分层开采的煤层，需单独绘制分层损失量计算图，以作为损失量统计分析的基础图件。

（2）损失量计算台帐　主要有分工作面、分月的各种损失分析及损失率计算基础台帐；分采区、分煤层、分季度的各种损失分析及损失率计算基础台帐；全矿井分水平、分煤层的各种损失分析及损失率计算基础台帐；期末工作面、采区、全矿井损失率及结束后重新核算的损失率台帐；各种永久性煤柱台帐；地质及水文地质损失台帐；“三下”（指水体下，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 11—1 矿井实际损失量分类

<table>
<tr><th>大类</th><th>范围</th><th>原　　因</th><th>面 积 损 失</th><th>厚 度 损 失</th></tr>
<tr><td rowspan="9">实际损失</td><td rowspan="3">实际工作面损失</td><td>与采煤方法有关的损失</td><td>按设计规定实际留设的小块煤柱、煤垛；采用某种采煤方法，按规定实际留设的煤柱</td><td>按设计规定实际留设的护顶煤；分层开采要求的煤皮假顶；因支护条件限制不采全厚或掩护式支架开采而丢失的顶、底煤</td></tr>
<tr><td>由不正确开采引起的损失</td><td>因冒顶另开切眼；水、火、瓦斯灾害；不按规定顺序开采；未采至终止线；煤柱实际尺寸超过设计规定部分而造成</td><td>设计未规定，但实际已留设的护顶煤；分层开采时，未按层位开采而丢失的顶、底煤；未按设计分层开采而丢失的煤分层；未达到规定采高而丢失的顶、底煤</td></tr>
<tr><td>落煤损失</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">实际采区损失</td><td>与采煤方法有关的损失</td><td>设计规定不回收的采区巷道保护煤柱；采区隔离煤柱、阶段煤柱</td><td>采区巷道顶、底部丢失的煤量</td></tr>
<tr><td>由不正确开采引起的损失</td><td>因违反开采程序；各类煤柱实际尺寸超过设计规定部分；采区巷道冒顶；水、火灾害等以及无充分理由丢弃不采而造成</td><td>超过设计规定尺寸的巷道顶、底煤；未按设计分层开采，巷道内遗留的煤量</td></tr>
<tr><td>采区内各工作面损失之和</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">实际全矿井损失</td><td>地质及水文地质损失</td><td colspan="2">开拓区内地质构造或水文地质条件极为复杂的块段(煤层)；煤层极不稳定或处于临界厚度的薄煤层；开采区内因遇影响开采的构造；煤层顶、底板含水层或含水小窑具突水危险，经采取措施仍无法解决；火成岩、古河床、陷落柱、自燃等影响局部煤层遭破坏或煤质变差；断层密集带、断层三角煤</td></tr>
<tr><td>永久性煤柱损失</td><td colspan="2">设计规定不回收的工业广场煤柱；主、副井、风井井筒煤柱；大巷煤柱；永久性“三下”煤柱；井田边界等安全隔离煤柱；含水层、积水老窑、断层、钻孔附近的防水煤柱</td></tr>
<tr><td>报损储量
矿井各采区损失之和</td><td colspan="2">顶板破碎，开采后经洗选灰分仍超限；自然灾害或其它原因留下的孤立块段；风氧化带至回风水平间经采取措施仍无法采出的煤量；煤层采动而破坏的极近距离煤层的储量</td></tr>
</table>

建筑物下和铁路下）压煤量台帐；报损及其它台帐。

（三）损失率和采出率计算

损失率和采出率是考核生产矿井资源利用和开采技术、管理水平的主要技术经济指标。它可反映矿井地质、设计、采掘工程、生产管理等各环节的工作质量。煤炭工业技术政策规定，采区采出率为：薄煤层≥85%，中厚煤层≥80%，厚煤层≥75%，水力采煤≥70%；工作面采出率为：薄煤层≥97%，中厚煤层≥95%，厚煤层≥93%。矿井生产中应依实测资料定期计算实际损失率（量）和采出率，以便分别与设计损失率（量）和采出率比较，及时发现问题并采取必要的措施来提高采出率。

损失率是指在某开采范围内，损失的储量占该范围工业储量的百分比可分为设计损失率和实际损失率。设计损失率是根据设计规定的损失量计算的损失率；实际损失率是根据开采过程中实际发生的损失量计算的损失率。设计损失率和实际损失率都可分为工作面损失率、采区损失率和矿井损失率。损失率的计算公式为：

$$损失率（\%）=\frac{损失量}{采出量+损失量}\times 100\%=\frac{损失量}{动用储量}\times 100\% \quad (11-8)$$

计算工作面实际损失率时，式中的损失量应是工作面内从开采到报告期末（或结束）的全部损失量，采出量应是工作面相应时期的全部采出量；当计算采区实际损失率时，式中的损失量为采区各项实际损失之和，采出量则为采区内各回采工作面与巷道掘进出煤量之和。类推可知矿井损失率计算时，式中损失量、采出量的取值。

采出率是指某开采范围内，采出量占该范围工业储量的百分比。可分为设计采出率和实际采出率。显然，采出率与损失率成反比，两者之和等于1。采出率计算公式为：

$$采出率（\%）=\frac{工业储量-损失量}{工业储量}\times 100\%$$

$$=\frac{采出量}{工业储量}\times 100\%=1-损失率 \quad (11-9)$$

采出率可分为回采工作面、采区和矿井采出率。如当计算某采区实际采出率时，式中采出量、损失量分别为采区内实际采出量和损失量，工业储量则取采区内已采动部分的工业储量，余者类推。

（四）损失量分析

提高采出率和尽可能减少煤炭损失是生产矿井最根本的增收节支措施之一。这对于生产计划的顺利完成，保证采掘正常接替，延长矿井服务年限，提高工程效果，降低煤炭成本和防止煤自燃等都具有重要意义。因此，生产矿井在定期进行采区丈量及其资料整理、填绘相关图件、台帐、报表的同时，要综合分析煤炭损失的原因。

井下煤炭损失主要是面积损失、厚度损失和落煤损失，且一般以面积损失量最大。要查明面积损失中，哪些是设计中允许的损失；哪些是由于开拓方式和巷道布置不合理、采用落后或非正规的采煤方法、违反开采程序、技术管理不善而造成的损失；哪些是通过开拓、掘进或生产勘探等工程控制，发现煤质差、煤层薄或地质及水文地质条件复杂等原因而不能开采的煤炭损失。厚度损失主要发生在厚～中厚煤层的开采过程中，是因为采煤方法不当或回采分层不合理造成的。落煤损失的主要原因是生产技术管理问题。

只有找出不合理损失的原因，才能有针对性地提出降低损失量、提高采出率的合理措施，以使采出率达到国家煤炭技术政策规定的指标。若采出率达到指标要求，则应总结并推广提高采出率的经验。

二、矿产储量表的填报

为使国家计划、地质勘探和有关部门及时掌握全国各种矿产资源的储量、分布及开发利用等情况，每年都要填报一次矿产储量表，对矿井储量作一次全面核算，并按时呈报上级主管部门。

矿产储量表是各种矿产通用的全国统一报表，并有专用软件辅助汇总和填报工作。填报时应严格按照“矿产储量表填报规定”和“编制煤炭储量表补充说明”的要求进行。具体步骤是：

1. 资料准备

由于生产矿井的储量是随开拓、开采及生产勘探的进展而动态变化的，因此，需要系统地整理、核准本年度所获得的全部地质资料及相关台帐、批文等，并以上年度的矿产储量表为基础，为年报做好资料准备。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 修绘储量计算图

在上年度储量计算的基础上，结合本年度获得的资料，修改各煤层底板等高线及储量计算图。它包括重新核定井田边界和各种煤柱界线，对原有地质构造、煤层厚度、煤质等进行必要的修正，按《煤炭资源地质勘探规范》的规定及矿井储量的特点，圈定储量级别，划分块段，确定储量计算参数，进行储量重算或核算。

3. 编制储量、三量、损失量计算表

将储量重算或核算结果按煤层、煤种、水平、级别填入储量计算表。对已开拓地段，还应计算三量和损失量，并将结果分别填入三量和损失量计算表。

4. 填写矿产储量表及其说明书

按矿产储量表各栏内容要求，汇总三量、损失量、采出量和储量等资料，逐项填写矿产储量表。

填好矿产储量表后，尚须编写说明书。其主要内容有：井田基本情况、本年度储量增减变化的原因、申请报损、注销的储量等。

最后，经检查无误，报主管领导核准签字后，作为正式资料，按规定逐级上报。

第十二章　地　质　编　录

地质编录是煤田勘探及矿山建设与生产中极其重要的基础工作，也是地质研究成果的体现。编录资料的正确与否，不仅直接影响地质勘探工作的质量和地质研究程度，而且还直接影响矿山建设与生产。

所谓地质编录，就是将直接观察到的地质现象或采用其它手段（钻探、物探、测试及化验等）所获的地质资料用文字和图表等形式正确地记录或系统地表示出来的方法与过程。广义地说，从收集原始资料至提交最终地质成果，都属于地质编录。

地质编录可分为原始地质编录和综合地质编录两类。原始地质编录是指全面收集和系统整理原始地质资料的工作。原始地质资料虽然比较零碎和分散，但它是认识总体地质情况的基础，是研究工作区地质条件、成煤规律和评价煤炭资源的依据。综合地质编录是指编制各种综合地质资料的工作，包括编制反映地质条件总体情况相互关系和变化规律的各种综合地质图件，各类地质报告、地质总结、地质说明书及地质研究的成果，是矿井技术管理不可缺少的技术基础资料。

本章着重介绍勘探工程和井巷工程的原始地质编录，综合地质编录的地质图件、地质报告及地质说明书等将在其它有关章节中讲述。

第一节　原始地质编录的内容及要求

一、原始地质编录的内容

原始地质编录的内容包括文字、图表及实物等三方面资料。

1. 文字资料

包括坑探工程、井巷工程中地质现象的记录，钻孔、井巷煤、岩心（层）的描述，岩石薄片和煤薄片、光片及化石鉴定的文字报告，野外及其它所有第一性地质资料数据的描述记录。

2. 图表资料

原始地质编录图表主要包括各种素描图，如天然露头和各种坑探工程、井巷工程的地质素描图，实测地质剖面图和钻孔柱状图，坑探工程、钻探工程原始记录表，岩心鉴定表、采样登记表，样品测试、分析化验成果表及其它描述地质现象的图件、照片、记录原始地质数据的表格、卡片等。

3. 实物资料

包括岩石、矿物、煤、化石及对研究地质规律有重要意义的其它标本和样品等。

二、原始地质编录的要求

原始地质编录既是地质勘探和矿井地质的基础工作，也是二者日常工作的主要内容之一，为保证其质量，各种原始地质编录必须满足一些基本要求。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1. 编录及时

无论是勘探工程施工，还是矿山回采、掘进工程施工的进展，都是连续不断的，因而原始地质编录也要随着工程的进展及时进行。否则，有些岩石就会潮解、失水或风化，尤其是井下丰富而珍贵的原始地质资料就会被密集的支架或砌碹所掩盖，特别是被井下随时可能发生的片帮、冒顶及工程推进所毁坏而失去收集资料的机会。

2. 准确全面

准确全面是原始地质编录的核心。原始地质编录的文字、图表等资料，要齐全完整，且必须做到内容真实，数据可靠，客观地反映地质现象。因为不合实际和不完整的地质资料，不仅不能指导生产，而且还会造成错误的认识和判断，给工作带来损失。

3. 系统统一

这是原始地质编录的重要原则。地层划分标准、岩石命名原则及各种地质现象的描述内容、图例、比例尺、图表格式、勘探工程和采掘工程名称及编号、编录方法等均要有统一的要求。因为地质编录的各种图件是地质工作的“语言”，如果原始地质编录没有统一的标准、格式和规定，而是因地、因队、因人，或因矿、因井而异，这样的编录成果使用起来十分困难，有时甚至无法进行对比而报废，失去编录的意义。

4. 重点突出

以能满足勘探项目、矿山生产建设需要和不漏掉有用地质资料为前提，突出原始地质编录工作的重点，详略适当。如对影响矿井建设的主要地质问题及地质变化异常地段和重要巷道等必须重点详细观测描述；对于其它可进行一般的观测编录。

总之，原始地质编录要求做到内容完整、数据准确、形象真实、字迹清晰、表达确切、图文结合、简明扼要、如实反映地质现象。

第二节　勘探工程地质编录

一、坑探工程地质编录

坑探工程的地质编录主要包括探槽、探井、探巷及小窑的地质编录。其编录的主要成果是各工程地质素描图和相应的文字描述。

素描图上除按大比例尺（≥1：200）详细展示出地质现象外，还应标注勘探区名称、工程名称及编号、工程点坐标、比例尺、工程方位角，样品和标本的位置及编号、图例、素描人及检查人姓名和素描日期等内容。

文字描述、采集的标本及样品等应分别记录在专门坑探工程地质记录表和采样登记表上。

坑探工程的地质编录方法基本上与井巷工程地质编录方法（详见本章第三节）相同，在此不赘述。

二、钻探工程地质编录

钻探工程的地质编录是根据钻孔中取出的岩、煤心或岩、煤粉等实物资料和各种测量数据、测井资料，以及对钻孔中各种地质现象的观测而进行的。由于钻探是地质勘探获得原始地质资料的最主要手段之一，同时又因钻孔资料不如天然露头和坑探工程所揭露的那样完整和全面，因此对钻孔所获得的各种资料，应力求详尽地进行观测、描述和记录。岩

心钻探的地质编录一般包括如下内容：

（一）岩（煤）心的分层、鉴定和描述

从钻孔开始钻进到提出岩心，称为一个回次。每个回次提出的岩心，应按岩心自上而下，由左向右的顺序放入岩心箱内。同一回次或不同回次所提出的岩心应根据岩性变化特点和岩石分层原则进行分层。对分层后的不同岩性的岩心，分别测量其在本回次中的长度，再除以本回次岩心采取率，即得到不同岩性的岩层在本次提钻中的伪厚度。由于岩石的硬度各异，在钻进过程中磨损情况不同，故各岩层所确定的伪厚仅是初步的、真正确定岩（煤）心的分层，还应参照钻探判层记录和测井解释成果。

对岩心分层后，应逐层详细鉴定和描述岩石的成因标志、构造特征、水文地质特征以及开采技术条件等方面的情况，如颜色、成分、粒度、分选性、胶结物、层理、结核、包裹体、喀斯特及裂隙发育程度、断层及其破碎带等等；对于煤心应详细描述其物理性质、结构构造及宏观煤岩类型和组分。

（二）换层深度的计算

换层深度即岩、煤分层底界面在钻孔中的深度。换层深度可根据岩、煤心采取率，回次钻探深度及岩、煤心磨损与回次残留岩心情况等，经过计算而获得。

岩层的换层界面多数位于回次进尺中间位置，并且在一个回次中，常常有一个或几个换层界面。在钻进过程中，由于不同岩性的岩心磨损存在很大差异，使得回次岩心不能代表回次进尺的孔段长度，加之取心技术原因，造成残留岩心的影响，使换层深度的计算更为复杂。现简要介绍换层深度计算的一般方法及步骤。

1. 计算岩、煤心采取率

岩心采取率（图12—1）分为回次岩心采取率和分层岩心采取率两种。

(1) 回次岩心采取率　每回次所取岩心长度与本回次实际进尺的百分比。即

$$X=\frac{\Sigma L}{L_A}\times 100\% \qquad (12-1)$$

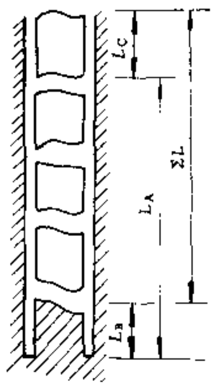


图 12—1　岩心采取率计算示意图

当有残留岩心进尺时，则用

$$X=\frac{\Sigma L}{L_A-L_B+L_C}\times 100\% \qquad (12-2)$$

式中　X——回次岩心采取率，%；

ΣL——回次岩心采长，m；

L_A——回次实际进尺，m；

L_B——本回次残留岩心长度，m；

L_C——上回次残留岩心长度，m。

(2) 分层岩心采取率　某一岩（煤）层的岩（煤）心累计长度与其相应的实际钻探进尺（钻探厚度）的百分比。

2. 计算不同岩性岩心孔段长度（即其钻探厚度）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

各岩层的钻探厚度用其实采岩心长度除以其岩心采取率即可得到

$$l=\frac{h}{x} \tag{12-3}$$

式中 l——各岩层岩心孔段长度，m；

h——对应岩层岩心采长，m；

x——对应岩层岩心采取率，%；

这里需要说明的是，由于软硬岩石在钻探过程中的磨损情况差别很大，其岩心采取率的差别亦很大，松软岩层的岩心采取率低，坚硬岩层的岩心采取率高。若用回次岩心采取率，计算岩心孔段长度，将会与实际情况相差甚远，因此在计算不同岩性岩心孔段长度时，必须用岩层岩心采取率。不同岩性的岩层岩心采取率获得比较困难，通常可通过大量资料统计分析获取其经验数据代人公式计算。

3. 计算换层深度 H_W

当求出岩心采取率和回次中各岩层的钻探厚度后，便可计算各岩、煤层的换层深度。换层有两种情况。

(1) 回次进尺终点换层　岩、煤层换层位置恰好位于回次进尺的终点，这种情况下比较简单，其换层深度即为回次累计孔深。

(2) 回次进尺中间换层　岩、煤层的换层界面位于回次钻进所采取的岩心之中。这种情况可根据岩层在本回次中的孔段长度和有无残留岩心分别计算换层深度。

A. 当回次进尺无残留岩心时，则

$$H_W=H_n-\Sigma l_2 \text{ 或 } H_W=H_{n-1}+\Sigma l_1 \tag{12-4}$$

式中 H_n——本回次累计孔深；

Σl_1——本回次中换层上部各岩层岩心孔段累计长度；

H_{n-1}——上回次累计孔深；

Σl_2——本回次中换层下部各岩层岩心孔段累计长度。

B. 当回次进尺有残留岩心时，则

$$H_W=H_n-\Sigma l_2-L_B \text{ 或 } H_W=H_{n-1}+\Sigma l_1-L_C \tag{12-5}$$

(三) 岩层倾角的确定

岩层倾角是换算岩、煤层真厚度和判断地质构造的重要依据。在钻孔钻进过程中，凡能测量到的岩层倾角都应系统地收集，尤其是在煤层顶底板、标志层及构造点附近和岩层分界面位置要加密测点，以利于构造的分析判断和岩、煤层厚度的准确计算。钻孔岩层倾角是通过对岩心倾角的测量及经过换算而确定的。

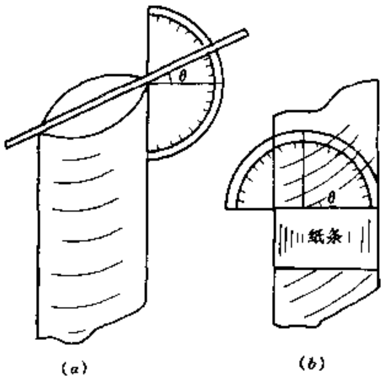
1. 岩心倾角的测量

岩心倾角是指岩层层面与岩心横断面之间的夹角。通常利用岩层分界面、水平层理面等进行测量，切不可把斜层理、交错层理及节理面误认为层面。岩心倾角可利用量角器或地质罗盘直接测量（图 12－2、图 12－3）。

2. 钻孔岩层倾角的确定

(1) 垂直钻孔的岩层倾角　岩心倾角 (θ) 就是岩层的真倾角。

(2) 垂直岩层走向斜孔的岩层倾角　可分为孔斜方向与岩层倾向一致及孔斜方向与岩层倾向相反两种情况。



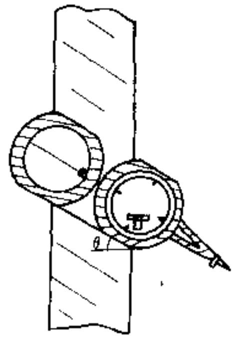


图 12—2　量角器测量岩心倾角示意图

(a) 岩心端面有平整的层面时；(b) 岩心没有平整端面时

图 12—3　罗盘倾斜仪测量岩心倾角示意图

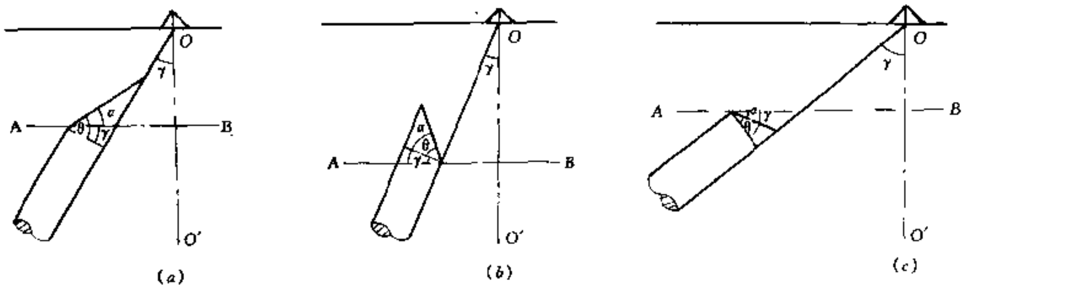


图 12—4　垂直岩层走向钻孔求岩层真倾角示意图

(a) 孔斜方向与岩层倾向一致时；(b)、(c) 孔斜方向与岩层倾向相反时

A. 孔斜方向与岩层倾向一致时（图 12—4a），岩层真倾角为：

$$\alpha=\theta-\gamma \tag{12—6}$$

式中　α——岩层真倾角；

θ——岩心倾角；

γ——孔段天顶角，即垂线与钻孔轴线的夹角。

B. 孔斜方向与岩层倾向相反时，

当 $\gamma\leqslant\theta$ 时（图 12—4b），岩层真倾角为：

$$\alpha=\gamma+\theta \tag{12—7}$$

当 $\gamma>\theta$ 时（图 12—4c），岩层真倾角为：

$$\alpha=\gamma-\theta \tag{12—8}$$

(3) 任意孔斜时的岩层倾角　在钻探施工过程中，任意方向孔斜是最常见的，求任意方向孔斜岩层真倾角（图 12—5）的计算公式为：

$$\mathrm{tg}\alpha=\frac{\mathrm{tg}\beta}{\cos\omega} \tag{12—9}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

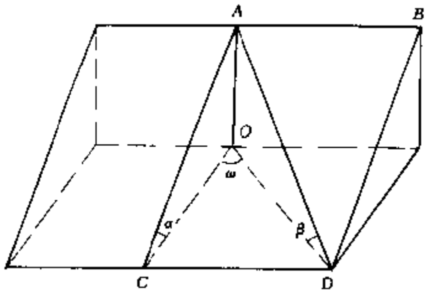


图 12—5 任意孔斜求岩层真倾角示意图
AB—岩层走向；AC—岩层倾斜方向；
AD—孔条方向

式中 α——岩层真倾角；
β——岩层伪倾角（按垂直岩层走向斜孔求岩层真倾角方法获得）；
ω——斜孔方位与岩层倾向间的夹角。

（四）岩（煤）层真厚度计算

无论是垂直钻孔还是垂直岩层走向斜孔以及其它任意方向斜孔中的岩（煤）层真厚度的计算通式为：

$$M=L\cos\theta \qquad (12-10)$$

式中 M——岩（煤）层真厚度；
L——对应岩（煤）层钻探伪厚度（岩心孔段长度或钻孔所见该层厚度）；
θ——岩心倾角。

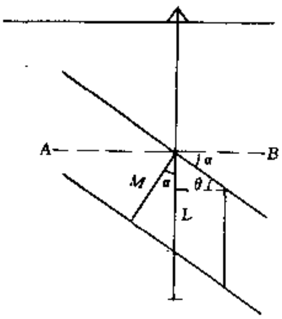


图 12—6 垂直钻孔求岩层真厚度示意图
θ—岩心倾角；α—岩层真倾角

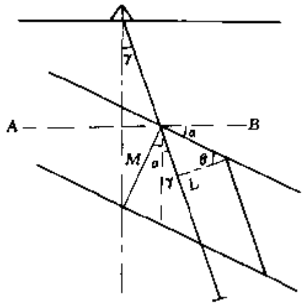


图 12—7 孔斜与岩层倾向方位一致时求岩层真厚度示意图
θ—岩心倾角；α—岩层真倾角；
γ—天顶角，即钻孔轴线与垂线的夹角

垂直钻孔中岩（煤）层真厚度的计算，见图 12—6，$\theta=\alpha$。对于垂直于岩层走向钻孔中岩（煤）层真厚度的计算，孔斜与岩层倾向方位一致时，岩心倾角 $\theta=\alpha+\gamma$，见图 12—7；孔斜与岩层倾向方向相反时：$\alpha>\gamma$，$\theta=\alpha-\gamma$；$\gamma>\alpha$，$\theta=\gamma-\alpha$，见图 12—8。

（五）孔斜的计算与投影

钻进过程中，由于地质因素、钻探技术和操作原因等，使钻孔发生弯曲，并与原设计的孔斜度（天顶角）和方位角发生歪斜，这种现象称为孔斜。因孔斜不仅给编制准确可靠的地质图件带来了困难，甚至影响到储量计算和开采设计。所以在勘探过程中，都要对钻孔进行孔斜测定，将钻孔中各测斜点、煤层点及构造点等采用适宜的方法进行计算并投影到剖面图和煤层底板等高线图上。孔斜计算与投影方法很多，如图解法、计算法、校正网法和查表法等，但无论哪种方法，就其投影原理来说，可分垂向投影法和走向投影法两种。

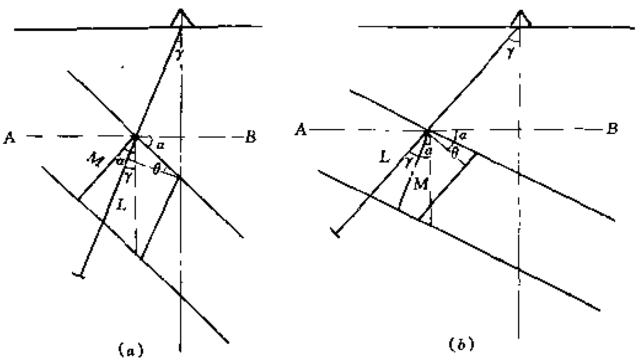


图 12—8　孔斜与岩层倾向方位相反时求岩层真厚度示意图

(a) $\alpha>\gamma$; (b) $\gamma>\alpha$

孔斜的计算与投影是在钻孔歪斜未超过钻探质量标准规定的限额基础上进行的；超过限额的钻孔为废孔，其资料不能利用。

图解法虽然精度较差，但它是掌握孔斜投影原理和作图方法的基础；计算法精度较高，并可运用计算机计算，故在实际工作中得到普遍采用。

1．图解法

图解法是直接利用测斜原始数据，用几何作图的方法，求得歪斜钻孔轴线及各种地质特征点在勘探线剖面图及煤层底板等高线图上的投影位置。其步骤如下：

第一步，统计并整理孔斜原始数据。首先将钻孔测斜成果和孔段弯曲原始数据整理好，这些原始数据包括：测点编号、测点孔深、测点间距、天顶角 α、磁方位角 φ'、和真方位角 φ（表 12—1），以及勘探线真方位角 θ，地层走向真方位角 γ、孔口坐标 X_0、Y_0、Z_0 和计算点（包括煤层底板点、构造点、标志层点、水文地质点和地层分界点）的孔深及所在孔段天顶角和方位角等。

表 12—1　钻孔测斜原始记录表

测点编号	测点孔深 m	测点间距 m	天顶角 (°)	方位角 (°)	
				磁方位角	真方位角
1	m_1	H_1	α_1	φ_1'	φ_1
2	m_2	H_2	α_2	φ_2'	φ_2
3	m_3	H_3	α_3	φ_3'	φ_3
4	m_4	H_4	α_4	φ_4'	φ_4
5	m_5	H_5	α_5	φ_5'	φ_5
n	m_n	H_n	α_n	φ_n'	φ_n

注：$H_1=m_1$，$H_2=m_2-m_1$，……，$H_n=m_n-m_{n-1}$。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第二步，对测斜原始资料进行统计与整理。可采用平均孔段距法，或平均天顶角、方位角法。平均孔段距法，即采用以相邻上下测斜点中心的距离为该孔段的计算斜距；而平均天顶角、方位角法，孔段距则采用两测点深度之差，天顶角和方位角取相邻两测点的平均值（表 12—2）。

表 12－2　钻孔测斜资料统计表

测点编号	平均孔段距法			平均天顶角、方位角法		
	α	φ	L_{cp}	α_{cp}	φ_{cp}	L
0	$\alpha_0=0$	φ_0				
			$\frac{l_1}{2}$	$\frac{\alpha_1}{2}$	$\frac{\varphi_1}{2}$	l_1
1	α_1	φ_1				
			$\frac{l_1+l_2}{2}$	$\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}$	$\frac{\varphi_1+\varphi_2}{2}$	l_2
2	α_2	φ_2				
			$\frac{l_2+l_3}{2}$	$\frac{\alpha_2+\alpha_3}{2}$	$\frac{\varphi_2+\varphi_3}{2}$	l_3
3	α_3	φ_3				
			$\frac{l_3+l_4}{2}$	$\frac{\alpha_3+\alpha_4}{2}$	$\frac{\varphi_3+\varphi_4}{2}$	l_4
4	α_4	φ_4				
			$\frac{l_4+l_5}{2}$	$\frac{\alpha_4+\alpha_5}{2}$	$\frac{\varphi_4+\varphi_5}{2}$	l_5

(1) 垂向投影图解法　当地层走向方位与勘探线方位夹角大于 75°时，采用垂向投影图解法。它们是在整理好钻孔测斜原始记录和钻孔测斜资料统计表的基础上进行图解来完成的。现以平均孔段距法为例（图 12－9），其作图步骤是：

A. 绘制钻孔天顶角剖面图。它是以钻孔测斜资料统计表中平均孔段距 L_{cp} 和孔段天顶角 α 两项数据来进行绘制。首先作 L_0 孔段，此段为垂直孔段，$\alpha=0°$，因此先从剖面图上开孔，孔位点向下作垂线，然后按编制剖面图的比例尺截取 $L_0=l_1/2$ 的长度，即为 L_0 孔段在勘探线剖面上的孔段距；绘制 L_1 孔段时，则是自 L_0 孔段末端以天顶角 α_1 的角度画斜线，在线上按比例尺截取 $L_1=(l_1+l_2)/2$ 的长度，即为 L_1 孔段在此剖面上的孔段距；以下各孔段画法以此类推，直到画完最后一个孔段为止，即得到一个由各孔段联成折线的钻孔天顶角剖面图；然后，在该剖而下方画一水平线，并由各孔段距的端点向下作垂线，求得各孔段相应的水平投影距（或称孔段平距）L_1'，L_2'，…，L_n'。

B. 绘制钻孔弯曲平面图。在钻孔天顶角剖面图下方作一水平线，将其视为勘探线在平面图上的实际位置；从钻孔天顶角剖面图上的孔口点向下作垂线与水平线相交，交点即为平面图上的孔位点；以勘探线方位为依据，画出通过孔位点的坐标轴，表示平面图的坐标方位，最后根据钻孔测斜资料统计表中的方位角 φ 和各孔段水平投影距（L_1'，L_2'，…，L_n'），绘制成钻孔弯曲平面图。

作图时，首先绘制 L_0 孔段平距 L_0'，由于 L_0 孔段为垂直孔段，$L_0'=0$，其平面投影为一个点，且与孔口点重合；当绘制 L_1 孔段的平距 L_1' 时，是自孔位点沿 φ_1 方位画直线，并在其上截取 L_1 孔段平距 L_1'；以此类推，作出其余孔段的平距，便可画出钻孔平面投影折线图，即钻孔弯曲平面图。

C. 绘制钻孔弯曲投影图。首先从钻孔弯曲平面图中各折点向勘探线作垂线，可得到各

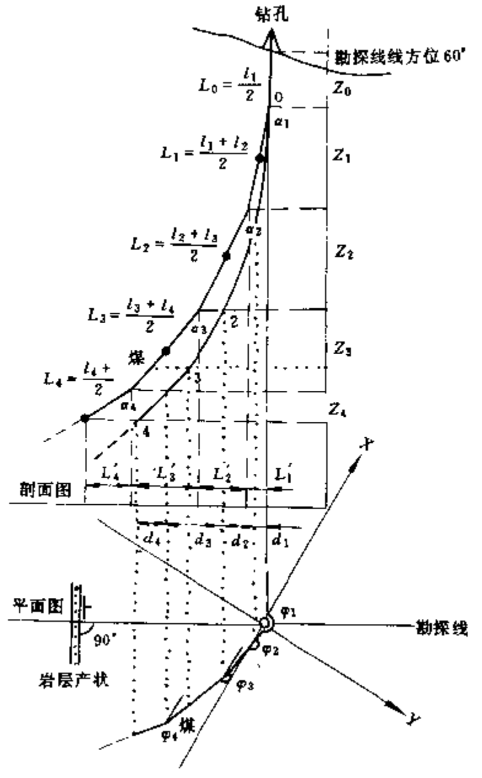


图 12－9　垂向投影图解法示意图

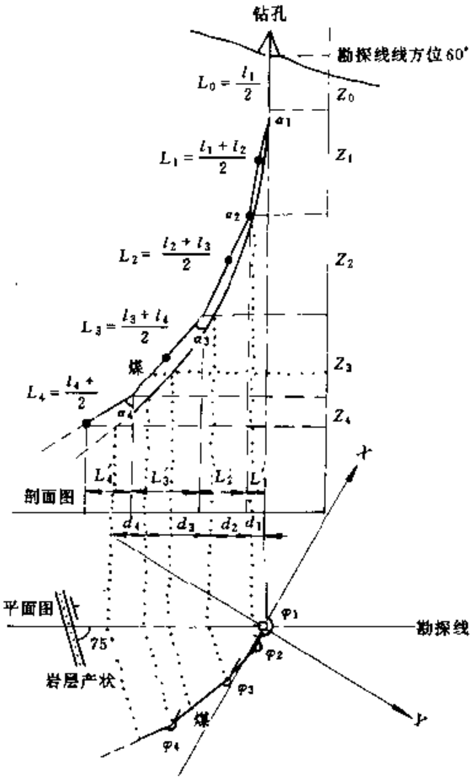


图 12－10　走向投影图解法示意图

孔段在勘探线投影的平距 d_1，d_2，…，d_n；当此垂线继续延长至天顶角剖面图上分别与相应钻孔天顶角剖面图上通过各孔段折点的水平线相交，得交点 0，1，2，…，n，各交点即为弯曲钻孔在勘探线剖面图上的投影点，用圆滑曲线联接各投影点，即为弯曲钻孔在勘探线剖面图上垂向投影校正图；最后绘制地质特征点（如煤层底板点、构造点、标志层点，地层分界点和水文地质点等），应根据各特征点孔深在钻孔天顶角剖面图上找出其相应位置，然后作水平线与剖面上钻孔弯曲垂向投影图的轴线相交，即得到各地质特征点在勘探线剖面上的投影位置。

D. 填绘地质柱状。根据各特征点在钻孔弯曲投影图轴线上的位置，按规定的图例，柱状宽度和岩煤层的岩心倾角，绘出勘探线剖面图上钻孔弯曲投影图的柱状。

(2) 走向投影图解法　当地层走向方位与勘探线方位夹角小于 75°时，采用走向投影图解法。它与垂向投影图解法不同之处在于从钻孔弯曲平面图中各孔段的折点沿地层走向作投影，求得弯曲钻孔在勘探线剖面上的投影图（图 12－10）。

2. 计算法

计算法和图解法的原理基本相同，但计算法是通过数字运算或利用计算机程序，求得各计算点的坐标增量 ΔX、ΔY、ΔZ 和坐标，以及在勘探线上投影的平距 d。

(1) 垂向投影计算法　适用于地层走向与勘探线方位夹角大于 75°的情况。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

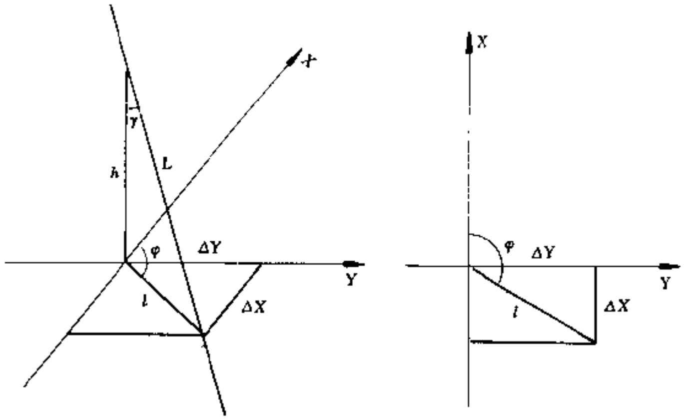


图 12—11 测点坐标计算示意图

γ—孔段天顶角；φ—孔段真方位角

A. 测点坐标的计算。歪斜钻孔的 X，Y，Z 三维空间坐标都随钻进深度而不断发生变化，假设 L 为任意两测点间的孔段斜距，则孔段垂直投影（图 12—11）为：

$$h=L\cos\gamma \tag{12—11}$$

孔段水平投影为：

$$l=L\sin\gamma \tag{12—12}$$

坐标增量为：

$$\Delta X=l\cos\varphi=L\sin\gamma\cos\varphi \tag{12—13}$$

$$\Delta Y=l\sin\varphi=L\sin\gamma\sin\varphi \tag{12—14}$$

$$\Delta Z=L\cos\gamma \tag{12—15}$$

因此，孔内任一计算点的坐标为：

$$X_i=X_0\pm\sum_{i=1}^{n}\Delta X_i \tag{12—16}$$

$$Y_i=Y_0\pm\sum_{i=1}^{n}\Delta Y_i \tag{12—17}$$

$$Z_i=Z_0-\sum_{i=1}^{n}\Delta Z_i \tag{12—18}$$

式中 X_0、Y_0——孔口坐标；

Z_0——孔口标高；

$\Sigma\Delta X_i$、$\Sigma\Delta Y_i$、$\Sigma\Delta Z_i$——各计算点坐标增量的总和。

关于坐标增量 ΔX、ΔY 的正负值，取决于所在的象限（图 12—12）。ΔZ 永远是负值，即随深度增加而递减。

B. 计算孔段平距在勘探线剖面上的垂向投影长度（图 12—13）。计算公式为：

$$d_r=l\cos\beta=L\sin\gamma\cos\beta \tag{12—19}$$

当 $\varphi>\theta$ 时 $\beta=\varphi-\theta$

当 $\varphi<\theta$ 时 $\beta=\theta-\varphi$

式中 d_r——孔段平距在勘探线剖面上垂向投影长度，m；

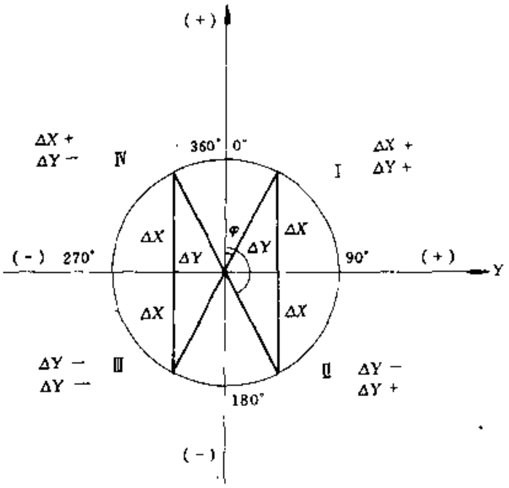


图 12—12 坐标增量取值与象限角关系图

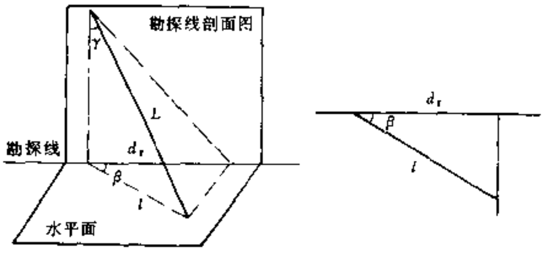


图 12—13 孔段平距垂向投影示意图
γ—孔段天顶角；β—孔段方位
φ与勘探线方位θ的锐夹角
L—孔段斜长；l—孔段斜长的水平投影

β——钻孔偏斜方位φ与勘探线方位θ之间的锐夹角，(°)；

L——孔段斜长，m；

l——孔段斜长的水平投影，m；

γ——孔段天顶角，(°)；

θ——勘探线方位角，(°)。

勘探线剖面上孔段投影平距累计为：

$$\Sigma d_r = \Sigma d_{r(n-1)} \pm d_{rn} \tag{12—20}$$

d 的正负值是根据孔段的倾向确定的。如多数孔段倾向于勘探线剖面的左端，可设左端为“正”、右端为“负”，其目的是避免在累计孔段平距投影长度时发生错误。

(2) 走向投影计算法 适用于地层走向与勘探线方位夹角小于 75°的情况。走向投影测点坐标计算方法与作图方法基本相同，不同之处是走向投影采用孔段平距在勘探线剖面上的走向投影长度 d_s。任意孔段的投影长度 d_s（图 12—14）的计算公式为：

$$d_S = \frac{L\sin\gamma\sin\psi}{\sin D} \tag{12—21}$$

式中 d_S——孔段平距在勘探线剖面上走向投影长度，m；

ψ—— 孔段方位 φ 与岩层走向方位 ω 的锐夹角，(°)，当 $\varphi>\omega$ 时，$\psi=\varphi-\omega$；当 $\varphi<\omega$ 时，$\psi=\omega-\varphi$；

D——勘探线方位 θ 与岩层走向方位 ω 的锐夹角，(°)，当 $\omega>\theta$ 时，$D=\omega-\theta$；当 $\omega<\theta$ 时，$D=\theta-\omega$。

走向投影测点坐标计算与垂向测点坐标计算的方法相同。

(六) 钻孔简易水文地质观测及终孔工作。

在钻进过程中，要测量钻孔中水位、冲洗液消耗量、钻孔涌水及漏水量和水温等。钻

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

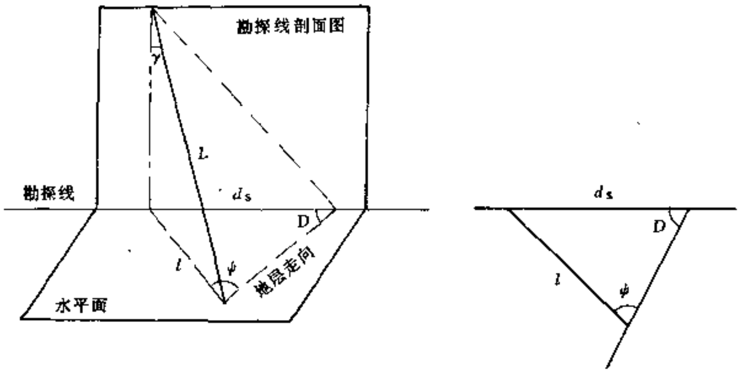


图 12—14　孔段平距走向投影示意图

孔水位是指冲洗液在钻孔内液面（又称水面）与孔口某一固定位置的距离。观测水位的目的是了解含水层的深度、地下水的压力和地下水的动态。

当钻进到达设计终孔层位后，要下达终孔通知书，丈量钻具全长和测斜，进行水文观测，绘制简易钻孔柱状图，终孔验收及封孔。封孔要按地质设计要求和钻探规程的规定进行，在封孔过程中，应特别重视封孔质量，以免以后地表水或地下水经过钻孔涌入井巷而造成危害。

第三节　井巷工程地质编录

由于煤矿生产的需要，在煤层及其围岩中开掘了一系列的巷道，这为观测收集井下原始地质资料创造了有利条件，人们可以通过井巷深入到地表以下，直接观测、记录和描绘地质情况。通常我们把记录和描绘井下原始地质资料的工作称之为井巷工程地质编录。

一、井巷工程地质编录方式及其选定依据

（一）井巷地质编录方式

根据我国井巷地质编录的实践经验，编录方式概括起来有观测点式、剖面图式、断面图式、切面图式及展开图式和立体摄影等六种。

1. 观测点式编录

观测点式编录不需连续测绘，仅在所需观测点上进行实测煤层厚度、产状、结构及其顶底板岩性（图 12—15）或构造性质、产状和规模，并将其观测资料准确地按实际位置填绘在煤层采掘工程平面图及其它有关图件上。此种编录方式适用于构造简单、煤层稳定的地区或块段。

2. 剖面图式编录

剖面图式编录是连续观测绘制井巷一壁地质剖面图，它是地质编录的一种基本形式。

3. 断面图式编录

断面图式编录是每隔适当距离，观测绘制巷道掘进头的横断面（图 12—16），并将观测的地质情况按断面实际位置标注在煤层采掘工程平面图或其它有关图件上。此种编录方式

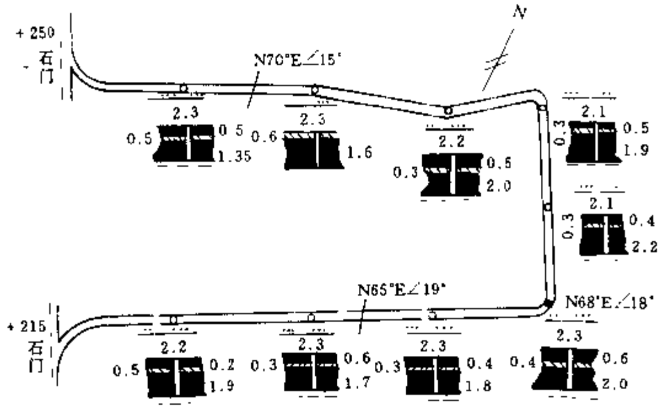


图 12－15　观测点式编录

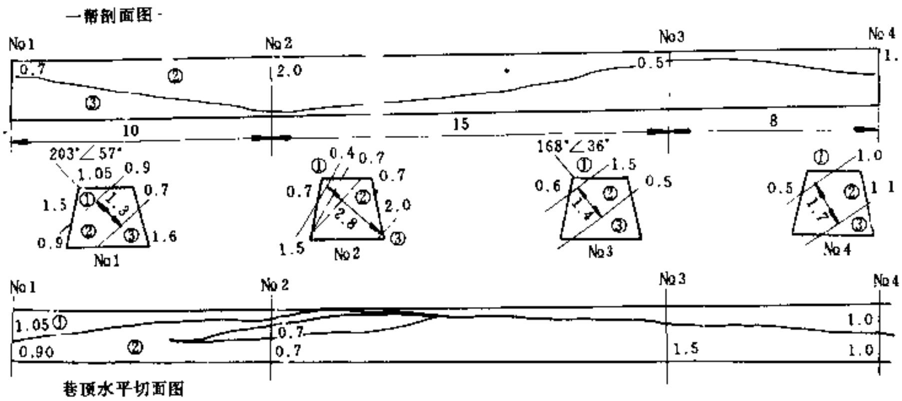


图 12－16　断面图式编录

①—黑色粉砂岩，含黄铁矿结核；②—煤层上部为半亮型，受挤压而破碎，下部暗淡型，完整坚硬；③—灰白色细砂岩，由下而上变细，煤层直接底为 20cm 粘土岩，含植物根化石

适用于地层层位稳定的岩巷和能够揭露煤层全厚的急倾斜煤层巷道。

4．切面图式编录

切面图式编录是沿巷顶或巷底连续观测绘制其水平地质切面图（图 12—17）。此种方式适用于巷道不能揭露煤层全厚的急倾斜煤层平巷编录。

5．展开图式编录

展开图式编录是连续测绘井巷多壁展开地质图。此种方式适用于构造极复杂、煤层极不稳定、巷道两壁地质现象很不一致的块段。巷道的展开方式有以下几种：

（1）两壁一顶展开图　巷顶保持不动，两壁从壁底向上展开成平面（图 12—18），所绘地质现象相当于从巷道外侧观察的结果。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

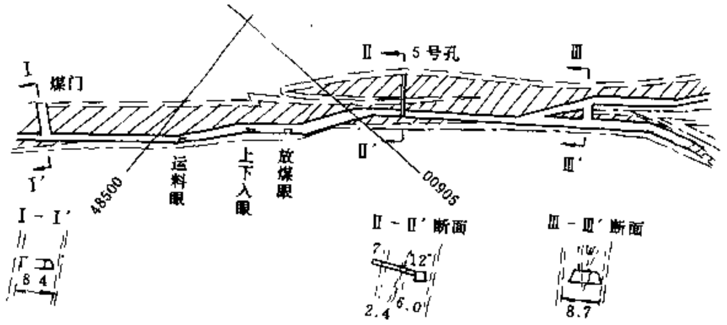


图 12—17 巷顶水平切面图

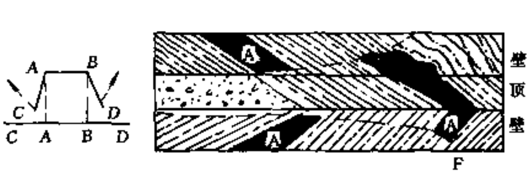


图 12—18 两壁一顶展开图

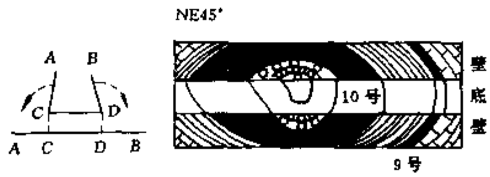


图 12—19 两壁一底展开图

(2) 两壁一底展开图 巷底保持不动，两壁从壁顶向下展开成平面（图 12—19）。

(3) 掘进头两壁展开图 巷道掘进头保持不动，两壁垂直巷底向外展开成平面（图 12—20）。

(4) 掘进头两壁一底展开图 巷底保持不动，两壁和掘进当头均从各自顶部向下展开成平面（图12—21）。

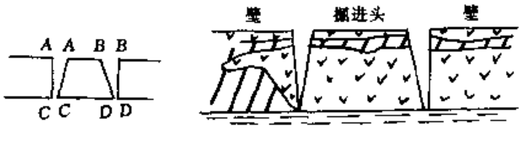


图 12—20 掘进头两壁展开图

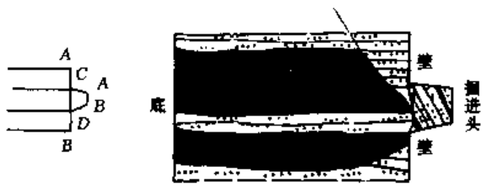


图 12—21 掘进头两壁一底展开图

(5) 巷道转弯展开图 当巷道转弯，在其转折处展开时，一壁会拉开一个角度，而另一壁会重叠一个角度，拉开与重叠角度等于巷道转弯夹角的补角（图 12—22）。

(6) 巷道起伏展开图 当巷道起伏，巷顶（底）采用水平投影时，两壁展开会与巷顶（底）拉开一个角度，拉开角度等于巷道的坡角（图 12—23）。

6. 立体摄影编录

立体摄影编录，是根据近景立体拍摄的原理，拍摄立体象对，获取井下地质信息。

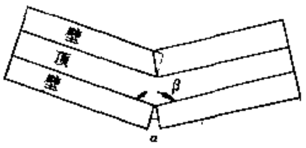


图 12—22　巷道转弯展开图

α—拉开或重叠的角度；β—巷道转弯处的夹角；

α+β=180°

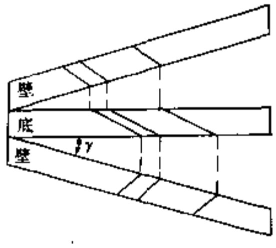


图 12—23　巷道起伏展开图

γ—拉开的角度等于巷道坡度

（二）井下地质编录方式的选定依据

1. 地质条件的复杂程度

地质条件的复杂程度决定原始地质编录的详略程度。一般来说，地质条件愈复杂，就要求原始地质编录愈详尽；地质条件愈简单，原始地质编录可愈概略。因此针对不同地质条件选择不同的地质编录方式，既能控制地质变化情况，又能节省原始编录时间。当地质条件简单时，可采用观测点式编录；当地质条件中等时，可采用一壁剖面图式编录；当地质条件复杂或比较复杂时，可采用展开图式编录，或剖面图与局部展开图，或剖面图与断面图结合起来进行编录。

2. 煤层倾角

煤层倾角陡缓决定着巷道中煤层的揭露情况。在平巷中，水平缓倾斜和倾斜煤层的结构在巷壁上显露得既连续又完整，因此选择剖面图式编录最佳；急倾斜煤层在巷顶和掘进迎头揭示得最全面，故而采用巷顶切面图和断面图式编录较为适宜。

3. 煤层厚度及其稳定情况

煤层厚度决定着巷道能否揭露煤层全厚。巷道能够揭露煤层全厚的薄煤层及部分中厚煤层，可直接编录巷壁剖面或掘进迎头断面；当煤层厚度结构比较稳定时，也可采用观测点式编录；若煤层厚度、结构变化很大时，在一壁编录的基础上，还应辅以局部展开图；对巷道不能揭露煤层全厚的厚煤层及部分中厚煤层，则应探清煤层全厚，并根据实测和探测资料编录沿巷道方向的垂直剖面图或巷顶切面图。

4. 巷道类型

巷道类型决定着原始地质编录的内容、要求和重点。根据井巷工程与煤、岩层产状的关系，巷道可分为穿层和顺层巷道两类。一般情况下，穿层巷道开凿较早，揭露地质内容较广，编录要求较高，是原始地质编录的重点。顺层巷道则视地质条件和煤层赋存情况，编录有详有略。

二、井巷编录步骤与方法

现以巷道一壁剖面图为例，概述井巷地质编录的一般步骤和方法。

（一）熟悉巷道预想地质剖面和邻近勘探线剖面

下井编录前，要熟悉编录巷道的预想地质剖面、邻近巷道的分布及其地质情况，以便

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

在编录时心中有数。

（二）确定编录壁及编录高度

邻近勘探线且与其方向基本一致的巷道，编录壁应与勘探线剖面图对应，统一看图方向，以便利用巷道编录资料修改、补充勘探线剖面图。其它巷道应编录紧靠它所服务的对象（水平、采区、回采工作面）的一壁。

巷道编录高度一般是上到棚牙口，下至轨道面，对于拱形或大断面巷道的编录高度，以不丢失有价值资料为原则，可视具体情况而确定。

（三）对编录巷道进行全面概略观察

到达编录巷道后，不要急于绘图和描述，应先对编录巷道全面巡视一遍，了解测量点位置，查明巷道所揭露的地质现象。巷道观察不仅限于编录壁，面应全面地观察两壁及巷顶的情况。

（四）标定编录起点及终点位置

利用测量点或已知巷道标定编录起点位置，丈量、记录编录起点距测量点或已知巷道距离和方向。每条巷道每次编录的终点均要注上记号，写上日期，以便下次接着进行。

（五）在编录壁上挂观测基线

观测基线是编录过程中挂在巷壁上的一条基准线。用它来控制距离和巷道的起伏，实测地质界线的位置及编录壁形态，是编录巷道剖面图的基础，一般用皮尺。为减少挂基线的误差，其起点与终点应与测量点取得联系，以便校核基线的距离和高程；基线的各种数据（方向、坡角及距巷顶、底距离等）应记录清楚，并绘出草图。

观测基线的挂法有四种情况。

1. 固定标高（即水平）观测基线

固定标高（即水平）观测基线适用于水平或坡度较小的巷道。当水平基线与巷顶（底）接近时，可将基线垂直提高或降低一定的高度（图 12－24）。

2. 平行巷顶（底）观测基线

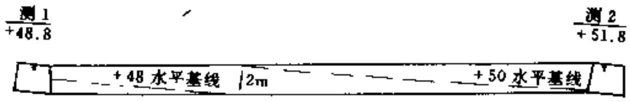


图 12－24　水平观测基线示意图

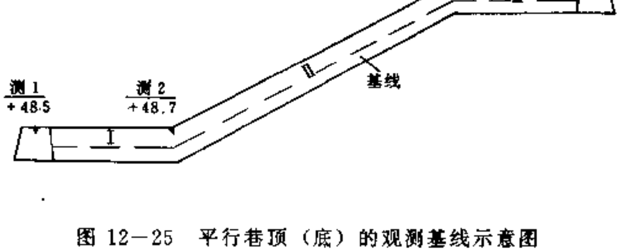


图 12－25　平行巷顶（底）的观测基线示意图

平行巷顶（底）观测基线适用于坡角较大、且坡度不一致的巷道。观测基线一般与巷道腰线一致，或者以巷道轨面为准，向上量取一定距离平行轨面布置；或者以巷顶的测量点为准，向下量取一定距离平行巷顶布置（图 12—25）。

3. 既不水平也不平行巷顶（底）观测基线

既不水平也不平行巷顶（底）观测基线适用于起伏比较频繁的巷道（图 12—26）。

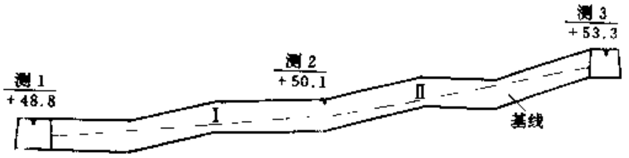


图 12—26 既不水平也不平行的观测基线示意图

4. 不连续观测基线

不连续观测基线适用于短距离内坡度起伏变化很大的巷道。这类巷道坡度变化不仅频繁，而且急剧，所以测量点较密，故可充分利用测量点资料来进行控制。（图 12—27）。

（六）观测、记录和描绘巷壁地质现象

观测、记录和描绘巷壁地质现象是井巷地质编录的关键步骤，具体包括三个方面。

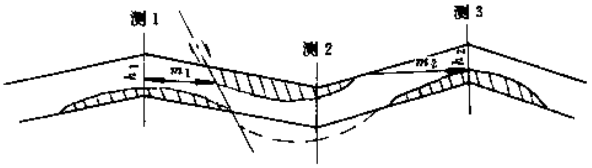


图 12—27 不拉连续基线编录巷壁剖面示意图

1. 地质观测点的选定与描述

地质观测点应选在地质特征清楚和地质变化显著的地点，对具有代表性和典型性的地质特征点必须重点观测描述。各种地质观测点的观测描述内容见表 12—3。

2. 地质界线的实测

地质界线一般用地质观测点及附加点来控制。具体方法可概括为 3 种。

（1）实测地质界面控制点法　对于每一地质界面均应实测两个及其以上的控制点，且每一控制点均需测出至基线起点的距离和到基线的垂距。控制点应选择在地质界面与巷顶、巷底和基线的交点位置，或褶皱枢纽及断煤交线与巷壁的交点。以控制点为基础，按实际情况即可连接地质界线（图 12—28）。此法适用于岩石层面起伏较大的井巷编录。

（2）实测地质界面控制点与视倾角法　每一地质界面只测一个控制点，即地质界面与基线的交点，并用罗盘或测角仪量出地质界面的视倾角，即可绘出该地质界线（图 12—29）。此法适用于岩层倾角较大，且产状与厚度稳定的井巷编录。

（3）实测小柱状控制地质界面法　即每隔适当距离作一小柱状图来控制地质界面（图 12—30）。此法适用于岩层产状稳定、倾角平缓，并且层次较多的井巷编录。

3. 绘制巷道剖面实测草图及细部素描图

在进行井巷原始地质编录时，不但要观测记录数据和文字描述，而且要在现场绘制巷道剖面实测草图和典型地质现象细部素描图。草图要简明清楚，不仅编录人自已能看懂，而

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

且要其他人也能看懂。细部素描图要标定其位置。巷道剖面实测草图及细部素描图的图式，如图 12—31、图 12—32、图 12—33 所示。

表 12-3　各种地质观测点的观测描述内容

地质观测点名称	观测描述内容
煤层观测点	1. 煤层厚度：薄煤层直接测其厚度，厚煤层测出沿巷道方向上的伪厚度 2. 煤层结构及煤岩特征：夹石层的层数、厚度、岩性及与煤层的接触关系，煤分层中煤的物理性质、结构构造、煤岩类型及各煤分层的厚度 3. 煤层中的结核及包体 4. 煤层顶底板：顶底板的岩石名称、岩性特征、厚度、产状及与煤层的接触关系，顶底板的坚固性、裂隙性、有无伪顶、伪底，底板有无膨胀与滑动现象 5. 煤层的分叉、尖灭、增厚变薄、煤层冲蚀、煤层中的构造变动、火成岩侵入体、喀斯特陷落柱、煤层的含水性等 6. 采取煤样及标本
断层观测点	1. 断层位置 2. 断层面的形态特征，断层面上擦痕及滑动方向 3. 断层带的宽度，断层带中充填物的成分、大小、分布和胶结情况，有无岩脉充填 4. 断层两盘岩层的层位及产状 5. 断层两盘伴生与派生地质现象，如牵引褶曲、羽状节理、入字型分支构造、帚状构造等 6. 断层带含水、含瓦斯情况 7. 断层性质及其力学性质的鉴定 8. 断层产状要素及断煤交线的测量 9. 断距的测量 10. 煤层受断层的影响情况 11. 采集断层两盘煤岩层标本和反映其构造特征的定向标本
褶曲观测点	1. 褶曲枢纽的位置、方向及倾状情况 2. 褶曲两翼煤、岩层的层位和产状 3. 褶曲的宽度和幅度 4. 褶曲附近伴生的小构造特点，褶曲与断层、节理的关系 5. 煤层受褶曲影响的情况
火成岩侵入体观测点	1. 火成岩的颜色、矿物成分、结构构造 2. 火成岩侵入体的产状、形态、厚度 3. 火成岩侵入体在煤层中的位置、分布范围，煤的变质程度，以及对煤层可采性的影响情况 4. 火成岩侵入与断裂构造的关系 5. 采集煤样及岩体标本
喀斯特陷落柱观测点	1. 陷落柱与围岩接触面的形态特征，周围岩层的产状变化 2. 陷落柱内充填岩块的大小、成分、排列情况和地层时代 3. 陷落柱的形状、大小，中心轴的倾向、倾角，陷落柱与煤层的交面线，巷道揭露陷落柱的部位等
煤系观测点	1. 逐层鉴定岩石名称，描述岩性特征、结构构造、生物化石、结核包体、接触关系，特别要注意煤层、顶底板和标志层的层位和特征 2. 测量岩层厚度与产状要素 3. 逐层采集标本，并编号登录

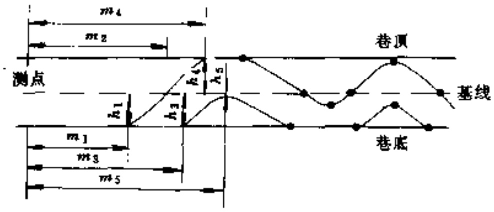


图 12—28 实测地质界面控制点方法示意图

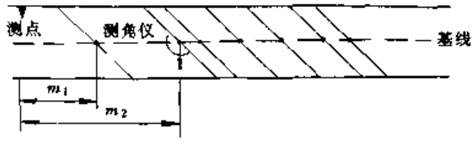


图 12—29 实测地质界面控制点与视倾角方法示意图

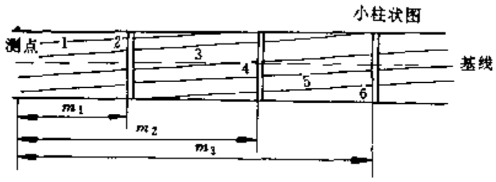


图 12—30 实测小柱状控制地质界面方法示意图

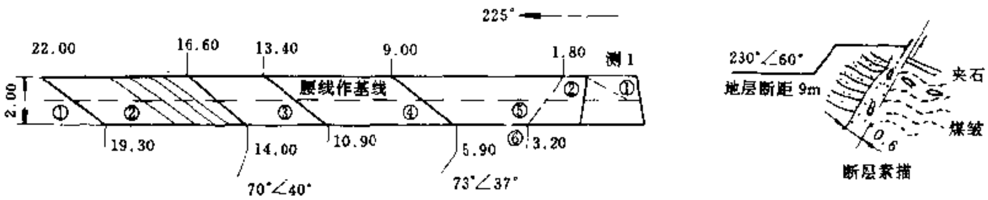


图 12—31 石门井下编录草图

①—砂质页岩：浅灰色，含根部化石；②—煤：半亮型为主．其中夹两层页岩（自下而上各分层厚度：半亮煤 1.4m，页岩 0.5m，半暗煤 0.5m，页岩 0.2m，半亮煤 0.6m）；③—页岩：浅灰色，含菱铁矿结核，近煤层含猫眼鳞木化石；④ 砂质页岩：上部含菱铁矿结核和炭质页岩；⑤—中粒砂岩：中部斜层理发育；⑥ 断层（F）：断层带中砂岩挤成粉状

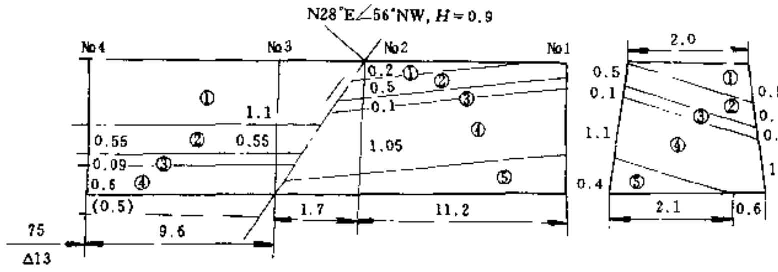


图 12—32 煤巷井下编录草图

①—灰黑色薄层粉砂岩，坚硬，含化石；②- 半暗型煤，中条带状，夹少量铁矿透镜体；③—黑色泥岩；④—半暗型煤，宽条带状，裂隙发育；⑤—灰褐色泥岩，团块构造，含植物根部化石

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

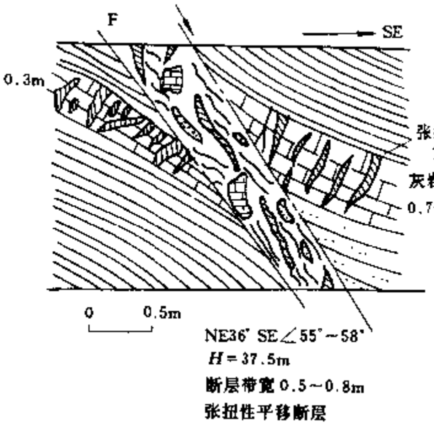


图 12—33 井下断层细部素描图

值得提出的是，在井下进行观测编录时，一是要切实注意安全；二是每条巷道每次编录后，在离开之前，要认真检查记录，核对各种数据。一条巷道编录完毕，还必须全面检查一遍，看资料是否收集齐全，如有遗漏和错误，要及时补充和纠正。

三、穿层井巷地质编录

穿层井巷是指不沿同一岩石层位掘进的井筒或巷道，如竖井、暗井、穿层斜井、穿层平硐井筒及石门等。这些巷道的特点是无论铅直、倾斜或水平，均系穿层掘凿。它们是研究煤系、煤层及其顶底板的主要巷道。

（一）竖井地质编录

竖井是煤矿开采作业中规模较大的基建工程，一般开凿在井田中央。由于其是垂直地表，又是最先用大断面揭露煤系的井巷，故它所提供的有关煤系、煤层及构造和水文工程地质资料，对于认识矿井地质特征、指导下一步井巷施工都具重要意义。因此，竖井编录要求较高。根据地质条件复杂程度，竖井编录可分为展开图、柱状剖面图和水平切面图三种方式。

1. 井筒展开图式编录

适用于地质条件复杂的地区，对于圆形井筒，将其视为方井，并沿棱展开成平面（图12—34）进行编录。为此在圆形井口周围选定四个基准点，使它们与井筒中心的连线方位分别为N45°E、N45°W、S45°E、S45°W。在该四点上设置井筒边垂线，即内接正方柱的四条棱线，用来测定地质界面深度，绘制地质界面与柱面的交迹。

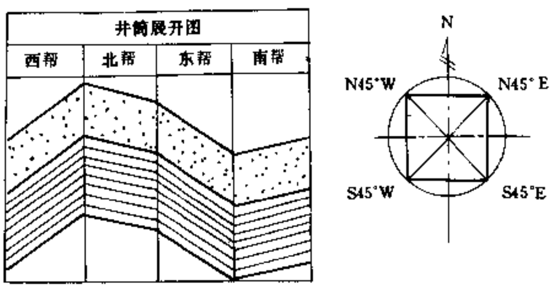


图 12—34 井筒展开图

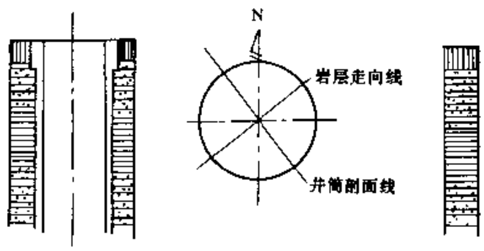


图 12—35 井筒柱状图

2. 井筒柱状剖面图式编录

适用于地质条件简单或中等、岩层倾角平缓的地区。它是在垂直地层走向的井筒直径两端，设置基准点和井筒边垂线，以此丈量地质界面深度，绘制井筒柱状剖面图(图 12—35)。

3. 井筒水平切面图式编录

适用于岩层倾角较陡的地区。此种方式是当井筒每掘一定深度编录一水平切面图，并根据各水平切面图编绘井筒柱状剖面图（图12—36)。为了便于对照各水平切面图的方位，水平切面图上应注记标高，标定剖面线和指北针。

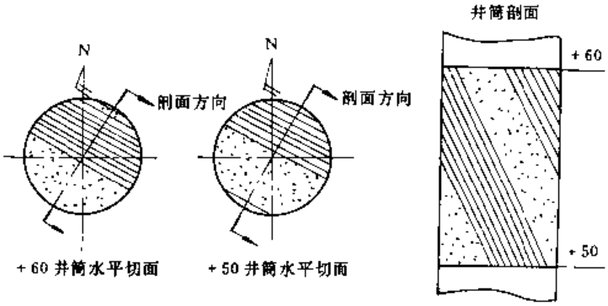


图 12—36 井筒水平切面图

（二）石门地质编录

石门是垂直或接近垂直地层走向且水平或近于水平的穿层巷道。一般位于井田或采区中央，其编录资料是分析构造、对比煤层的主要依据，同时也是采区设计和巷道布置及其施工不可缺少的资料。因此，所有石门都要细致地进行地质编录。

石门编录的基本方式是只作一壁剖面图，即测绘一壁的地质素描图。但当个别地段条件特别复杂、一壁编录难于反映真实地质现象时，则以一壁剖面图为主，辅以局部展开图。

四、顺层井巷地质编录

顺层井巷是指沿着相同岩石层位开凿的井筒或巷道，如顺层平硐、顺层斜井、运输大巷、总回风巷、采区上下山以及所有的沿煤巷道。这类巷道的特点是无论沿煤、岩层走向的平巷，或是沿倾斜、伪倾斜掘进的倾斜巷道，都是顺着同一层位开凿的，顺层巷道是研究煤层及其顶底板的主要巷道。

顺层煤巷能够取得煤层沿其走向或倾斜方向的厚度、结构、产状、顶底板岩性及其变化资料，了解煤层中侵入体和喀斯特陷落柱的分布及构造变动情况，其编录方式一般采用剖面图式和观测点式；但当煤层倾角较大时，根据煤层厚度的不同多采用断面图式和切面图式编录。

顺层岩巷编录的重点是及时发现构造变动和岩性变化情况，查明构造性质及规模。一般采用剖面图式或断面图式编录。

五、回采工作面地质编录

回采工作面地质编录的基本任务是查明采面内的地质变化及其发展趋势，指导回采工作的正常进行；测量煤厚，丈量采高和浮煤厚度，计算工作面损失率，监督煤炭资源的充分回收；探测厚煤层的剩余厚度，为厚煤层的合理分层开采提供依据。

随着工作面的逐步推移，要不断地观测工作面出现的地质构造、煤层厚度、结构及其变化，顶板岩性、结构、产状及裂隙情况，以及其它影响回采的地质因素等。

回采工作面地质编录的方式有观测点式和剖面图式两种。如果回采工作面内地质条件简单，煤层厚度较为稳定，一般只要隔一段时间或每推进一定的距离，在工作面内均匀布置几个观测点，测量煤厚、采高、浮煤及底丢煤厚和产状，并将其观测结果展绘在回采工作面平面图上；如果工作面地质条件复杂，除增加检查观测次数外，还应沿工作面煤壁作实测剖面图（图12—37)，以反映地质变化情况。

对于煤厚较大，且有一定变化的分层回采工作面，观测时还必须系统地进行探煤厚工

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

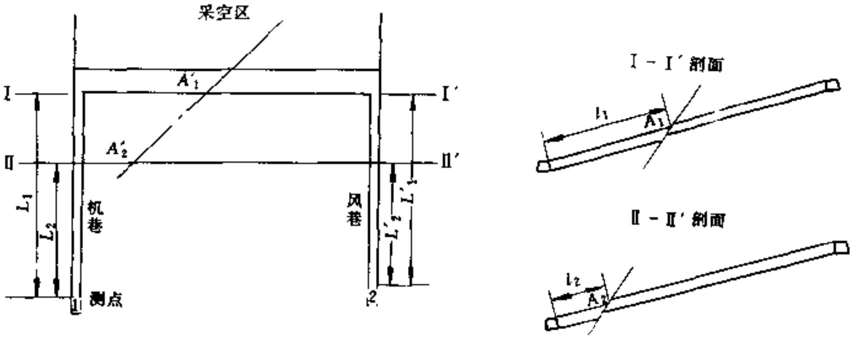


图 12—37　回采工作面编录示意图

作，并及时编绘出探线剖面图和剩余煤厚等值线图。

第四节　原始地质资料整理

由于野外和井下工作条件的限制，所作的实测剖面图和素描图均是示意性的草图，记

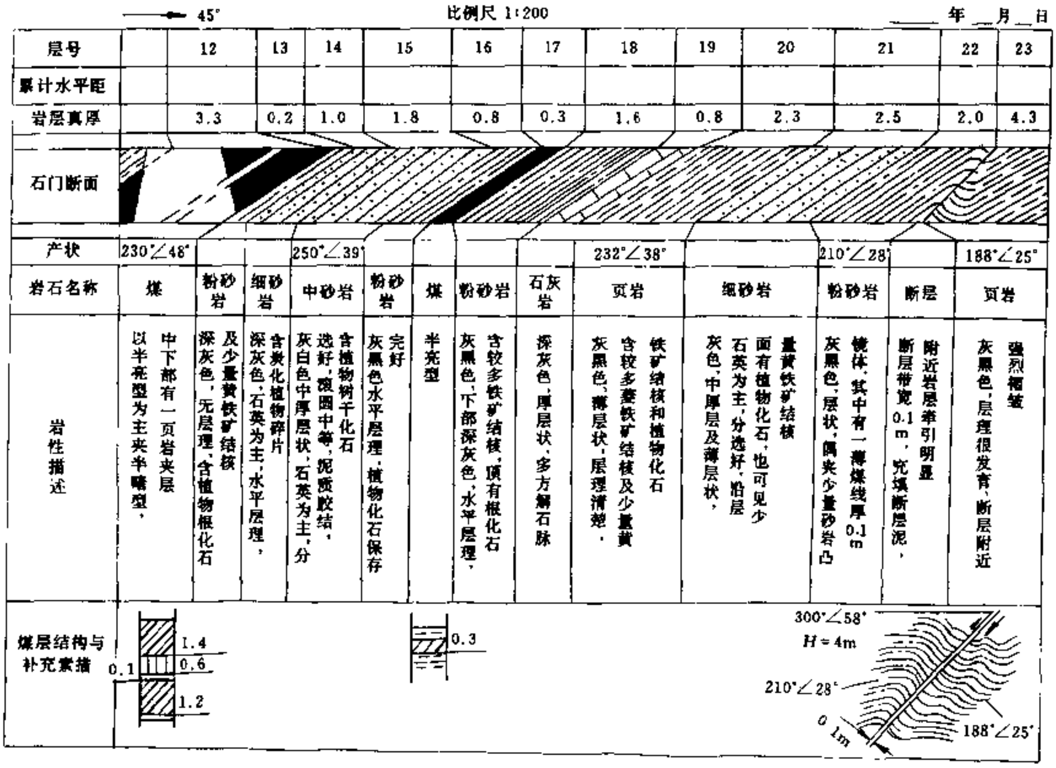


图 12—38　石门井（WN 壁）剖面图实例

录的一些数据也未经换算，尤其在井下，甚至对煤层、岩层鉴定和描述都比较粗略，这些零碎资料使用起来很不方便。为了便于使用和妥善保存，并使之系统化和规格化，必须及时整理这些基础资料。地质资料整理程序、内容和要求如下：

一、检查、补充和誊清地质记录

包括原始记录的检查与核实；标本的补充鉴定与描述；厚度、高程、距离、产状要素的改正与换算。在此基础上，誊清原始地质记录。为了对比层位和判断构造，对有地质意义的标本，应编号陈列。

二、清绘原始地质图件

野外或井下实测的草图，经检查核实后，应按规定格式清绘（图 12—38）。清绘时要去掉各种辅助线和不必要的数据，注记正式测量成果，但不准随意更改草图。经清绘的各种地质图件，应分门别类或按采区、煤层装订成册，并附平面位置图。

三、建立原始地质资料档案

将大量繁杂的原始地质资料按地区和种类两条线索整理。建立地质资料档案和原始地质资料分类统计档案。有条件的单位应建立地质资料数据库，开展计算机检索业务。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第十三章　地质报告及地质说明书

从地质角度讲，矿产资源的开发过程就是对埋藏在地下的客观地质体不断揭露并深化认识的过程。在煤炭资源地质勘探阶段，从大范围的概略了解到小面积的详细勘探，逐步查明矿体（层）的空间位置、几何形态、煤炭质量、煤炭储量和开采经济、技术条件等。煤炭资源精查结束时提交的井田精查（或最终）地质报告，是矿井设计、建井和生产的地质依据。其可靠性、地质研究程度将直接影响矿井开拓方式、采掘布署、开采方法、运输、通风、排水等方案选择的经济合理性。

建井阶段，在综合分析研究井田精查（或最终）地质报告和建井地质勘探资料的基础上，编制矿建地质说明书，作为建井工程设计、施工的地质依据。建井结束移交生产时，还需提交矿建地质报告，以总结矿井建井过程中的全部地质工作。

矿井生产的开拓、掘进和回采等工作开始前，均应综合分析研究勘探和相邻区段新揭露的地质资料，编制相应的地质说明书，作为采掘设计、生产的地质依据。

第一节　地　质　报　告

地质报告是全面反映相应阶段地质工作成果的重要技术文件。它是在指定任务全部完成或告一阶段后，根据各种资料的系统整理和综合分析研究编制的。一般由报告正文及各种图件、表格、附件等组成。

一、地质报告的类型

按地质工作的目的，地质报告可分为区域地质调查报告、矿产地质报告、水文地质或工程地质报告、物化探报告等。煤炭资源地质勘探报告属矿产地质报告的范畴。

煤炭资源地质勘探中，按勘探阶段有找煤地质报告、普查地质报告、详查地质报告和精查地质报告。若勘探区地质条件复杂，虽进行较详细的地质勘探工作也不能达到精查的控制和地质研究程度时，则可提交详查最终或普查最终地质报告，作为小型矿井设计和生产的地质依据。

矿井建设竣工移交生产时，要提交矿建地质报告。经一定时期的采掘生产，需根据勘探、建井和生产中积累的地质资料，编制矿井地质报告。矿井收尾时，要提交矿井收尾阶段地质总结。

二、井田精查地质报告的主要内容及其使用

井田精查地质报告是在精查勘探结束后，为反映井田地质和煤炭资源状况而提交的地质报告。它是矿井初步设计、建井和矿井生产的重要地质依据。为满足矿井设计和生产部门对精查地质报告的要求，地质勘探部门在井田精查设计和施工中，都要不断听取矿井设计和生产部门的意见，尽可能提高对影响设计和生产主要地质问题的控制和研究程度。提交精查地质报告后，上级有关部门还要组织地质勘探、矿井设计和生产部门的工程技术人

员对报告进行全面的审阅、评议，并对报告是否获准通过作出决议。评审通过的精查地质报告才能提供矿井设计、建设和生产部门使用。

（一）井田精查地质报告的主要内容

精查地质报告应包括报告正文、各种图件、表格、对有关地质问题的专题研究报告以及原始资料、岩心等。

1．报告正文

报告正文一般分八章，每章再按需要分节。

第一章 概 况

说明勘探工作的目的、任务；勘探区位置与交通概况，包括地理位置、坐标、勘探区边界和面积；扼要说明经过或邻近勘探区的现有或拟建的铁路、公路、水路等（附交通位置略图）；勘探区自然地理，包括地形地貌、地表水体、气象和地震资料等；勘探区及其附近生产或已停闭矿井和小窑的情况；以往地质工作及其评价。

第二章 勘探区地质

扼要叙述区域地层、构造、火成岩及其特点。

详细叙述勘探区内地层时代、层序和化石；叙述含煤地层厚度、岩性、岩相、标志层特征及其沿走向、倾向的变化。

分别叙述区内重要褶曲、断层的分布和控制程度。说明断层性质、断距、断层面产状，构造线的延展方向和长度、生成顺序及对煤层、煤质的影响，综合叙述区内地质构造的规律性。

叙述火成岩体的名称、产状、侵入时代、分布范围及对煤层、煤质的影响。

第三章 煤层、煤质及其它有益矿产

综合叙述煤层总层数、总厚度和可采煤层层数、总厚度。自上而下地详细叙述各可采煤层的层位、间距、厚度、结构及变化规律，煤岩层对比的依据和可靠程度。

叙述各煤层煤的物理性质，煤质和煤岩特征，煤的工业牌号及沿走向、倾向的变化规律，并列表说明煤质指标的两级值及平均值，多煤种的勘探区应分煤种加以统计。

煤中有害组分（灰分、硫、磷等）及其变化规律。煤的可选性及工艺特征（炼焦、化工等），煤的合理利用方向。

煤层风、氧化带的确定方法及依据。

对勘探区内其它有益矿产，如铁矿、油页岩、铝土矿、耐火粘土等的勘探程度、分布、规模、质量、储量以及煤中稀散、放射性元素的赋存情况及含量（若达到工业品位、则另编资料），进行综合评价。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第四章　勘探区水文地质

扼要叙述区域水文地质特征。

勘探区水文地质条件：叙述各含水层及隔水层的岩性、厚度、埋藏深度、分布范围及其变化，裂隙与溶洞发育程度及其规律，地下水的埋藏类型及水力性质，含水层的富水性（钻孔单位涌水量、渗透系数）、水位标高、水质、水温及地下水动态资料，含水层间及与地表水的水力联系，隔水层隔水条件的评价。

与邻近生产矿井水文地质条件对比情况：现有生产矿井的能力、井型、开采最深水平，各水平和整个矿井的月涌水量、水质、水温，充水的主要来源及地下水出露情况，巷道突水的原因，勘探区与邻近生产矿井水文地质条件的比较。

矿井初采区及第一水平涌水量预计：涌水量预计公式的选择及所采取的各种计算方法的依据，不同方法预计结果的比较。

供水水源：勘探区现有供水情况，可能供水水源的水质、水量评价。

第五章　开 采 技 术 条 件

勘探区内或邻近矿区的生产矿井（包括生产小窑）有关开采技术条件方面的资料。已封闭或停采的矿井及其原因。

详细叙述区内松散覆盖层及各可采煤层顶底板岩性及其变化规律，并叙述其物理机械性质、特征。露天开采时，还应评述上覆岩层的工程地质特征。

瓦斯含量、煤尘和煤的自燃倾向性，实验室分析结果及邻近生产矿井的有关资料及评价，矿井瓦斯等级确定的依据。

第六章　地 质 勘 探 工 作

地形测量工作方法及质量评述。勘探工程的测量方法及其质量。

地质测量工作方法、工作量及成果的质量评述。

地表工程工作量及其质量评述。

物探（包括地面物探及测井）的工作方法、工作量及其质量评述。物探与钻探相结合的综合方法及其效果评述。

钻探工程量及其质量（岩、煤心采取率，孔斜，封孔等）评述。

水文地质工作及其质量评述。

各种样品采取地点、方法、数量及其确定的依据，采样工作质量及化验质量的评述。

勘探类型及其确定的依据，勘探方法、勘探程度及勘探工作的经济效果。

第七章　储　量　计　算

储量计算边界及工业指标确定的依据。

储量计算的方法和计算参数选定的依据。

划分各级储量的条件，与一般划分原则不同的特殊块段的处理方法。

勘探区内各级储量及总储量的计算结果。储量计算的检查方法和准确程度的

评价。

有关储量计算其它方面的说明。

第八章　结　　论

对勘探成果总的评价（主要是对勘探程度、地质报告资料的完备程度及其质量作出结论）。

简要总结勘探工作的主要经验与教训。提出今后建井、矿井生产应注意的问题。勘探区远景评价及对今后工作的意见和建议。

2. 图件

交通位置图；

区域地质图（附地层综合柱状及地质剖面），1∶50 000～1∶200 000；

井田地形地质图（隐伏区为基岩地质图），1∶5 000～1∶10 000（露天开采用1∶2 000～1∶5 000）；

井田地层综合柱状图，1∶500～1∶1 000；

钻孔柱状图，1∶200～1∶500。附简易水文地质观测曲线、测井曲线及解释成果；

岩煤层对比图，1∶200～1∶1 000（当煤层层数少、间距大、对比标志明显、在勘探线剖面图上可以看清对比关系时，可以少做或不做）；

勘探线剖面图（含走向剖面图），1∶ 2 000～1∶ 5 000；

水平切面图；

各可采煤层底板等高线及储量计算图，比例尺同地形地质图。当煤层倾角大于60°时，应附煤层立面投影图或立面展开图；

井田水文地质图（水文地质条件简单的井田，可与井田地形地质图合并），比例尺同井田地形地质图；

水文地质剖面图（水文地质条件简单时，可与勘探线剖面图合并），比例尺同勘探线剖面图（第四系剖面图的比例尺可适当放大）。

其它图件：区域水文地质图、抽水试验综合成果图、地震时间剖面图等。

3. 表格、附件资料

测量成果表（包括控制测量及工程测量）；煤层综合成果汇总表；煤质分析成果汇总表；煤的可选性试验及工艺性能试验成果汇总表；储量计算表及汇总表；地表及地下水水质分析报告表；各含水层抽水试验综合表；土壤、岩石及煤的物理机械性质试验报告表；老窑或生产矿井调查材料等。

根据勘探区的地质情况和工作需要，为提高地质报告的研究程度和质量而进行的专题研究报告。

4. 可不必复制的原始资料

槽（井）探展开图、钻孔的原始记录、长期水文动态原始记录、物探的实际资料、钻孔的封孔、止水报告等，以及主导勘探线上钻孔、水文孔、井筒检查孔、基准孔等特殊钻孔的全部岩心和一般钻孔的部分代表性岩心。

（二）对精查地质报告的审核及评价

精查地质报告资料的可靠程度直接关系到矿井建设与采掘生产能否安全高效地进行。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

因此，矿井工程技术人员应具备审核及评价地质资料的能力。在审核及评价地质报告时，可从两方面入手，一是注意资料是否齐全、核准原始资料的可靠程度；二是从影响矿井建设和生产的主要地质问题的控制和查明程度，评价报告的勘探程度是否满足矿井设计、建设和生产的要求。

1. 对原始资料和综合资料进行系统审核

(1) 钻孔资料应检查：钻孔坐标；见煤深度、煤层厚度、结构和顶末底初及煤心采取率；煤层底板标高；煤层对比和层位确定的依据；钻孔测斜和封孔质量；钻探和测井工程质量等级，钻孔综合评定等级；煤质化验资料等。

(2) 勘探线剖面图应核对：钻孔孔口坐标、孔间距与平面图是否相符；煤层、标志层的深度和厚度；煤层对比的可靠性；褶曲、断层在剖面上确定的依据和可靠程度等。

(3) 根据经核查的勘探线剖面图和线间钻孔资料，检查煤层底板等高线图。

(4) 核实区内生产小窑、已停闭老窑资料；在有露头地区，还要对主要构造线和煤层露头线加以核实。

(5) 按设计水平、采区核实地质储量，看能否满足矿井设计能力、服务年限的要求。

2. 从几个主要方面评价勘探程度

(1) 勘探工作　从井田构造基本形态看勘探线布置系统的合理性；从构造发育情况和主要可采煤层稳定性看勘探线距选择是否合理。

(2) 地质构造　对大、中型断层位置、产状、性质、落差的控制程度，尤其是对边界断层、第一水平或先期开采地段较大断层的控制程度能否达到规定的要求（构造线平面位置应控制在 250m 以内)；煤层产状的控制程度，尤其是第一水平内煤层底板等高线急剧变化处，有无检查控制；煤层倾角小于 10°时，初采区内较大的波状起伏是否控制；预定水平运输大巷位置的煤层底板等高线的加密控制程度能否满足设计需要。

(3) 储量　储量计算方法、参数选择的合理性；煤层可采边界、高灰分界限、煤质牌号界限以及层状火成岩分布界限、煤层风氧化带界限等的控制程度；高级储量比例及分布是否合理；储量计算的可靠程度。

(4) 水文地质条件　矿井涌水量预计的依据是否充分，预算的可靠程度；在水文地质条件较复杂的井田，还要注意主要含水层的富水性、导水性及其变化规律，地下水的补、径、排条件，断层导水性等是否查明。

(5) 其它开采技术条件　煤层顶底板岩性及其变化；对煤层瓦斯、煤尘、自燃倾向性等方面的研究工作是否达到规定要求。

(三) 井田精查地质报告的使用

精查地质报告的使用贯穿于矿井设计、建井和采掘生产的全过程。其中，使用最为广泛的是各种图件，现重点介绍图件的使用。

地质报告的图件很多，按用途一般可分为三类：

第一类是反映区域概貌的图件。包括交通位置图、区域地形地质图（附综合地层柱状图及地质剖面图)。

这类图件的比例尺小，反映的面积大。其作用主要是介绍井田所在区域的概况，如井田的地理位置、交通、地形、区域地质等情况。可作为供电、供（排）水、铁路、公路运输等设计方案的参考图件。

第二类是矿井设计、生产中常用的主要图件。包括井田地形地质图、勘探线剖面图、水平切面图、煤层底板等高线及储量计算图。

这四种图件是井筒、硐门及地面建筑物和井下巷道布署的设计底图。矿井设计时应经过现场实地踏勘，并提出多种设计方案进行比较、优化。设计方案的合理性，从图上可一目了然。同时，它们又是指导矿井采掘布署和生产的重要图件，并需在使用过程中不断修正和补充，消除地质误差，以便正确指导下一步的巷道设计和采掘生产。

第三类是矿井设计、生产的参考图件。包括钻孔柱状图、井田综合柱状图、煤（岩）层对比图、井田水文地质图、水文地质剖面图及其它图件。

巷道系统设计和采、掘施工中，除侧重考虑地质构造、煤层厚度变化和储量等因素外，还要考虑岩石性质、地下水及其它开采技术条件等因素的影响，这就需要参考此类图件。且钻孔柱状图属原始资料，它是综合性、分析性图件的基础资料，所以又是审核这些图件的依据。

在审核、使用各种图件的同时，还应参阅报告文字中相关章节的论述，以加深对一些主要地质问题的认识，了解勘探阶段对这些问题的勘探、研究程度、资料的可靠程度。

三、矿建地质报告的主要内容

矿建地质报告是对从煤矿基本建设准备开始，到建成投产过程中全部地质工作的总结。它侧重说明对井田精查（或最终）地质报告的验证情况和对地质体认识的进展和新发现。因此，它是精查地质报告的必要补充和部分修正，起着承上启下的作用。

在煤炭资源地质勘探阶段，主要是运用地表钻探和物探等手段获取地质资料，故在联系对比勘探工程（或线）间地质构造、煤层赋存状态时，均不可避免地会出现一定的地质误差，若一些勘探工程质量不高，还会导致构造、煤层的误判或遗漏；而矿建阶段不仅可通过少量钻孔解决或验证一些专门地质问题，以弥补勘探工作的不足，而且可随井巷掘进，系统地收集和整理井下揭露的地质现象，不断提高对客观地质体变化规律的认识。

矿建地质报告的范围，主要是矿建阶段实际开拓的地段，并要求文字、图、表精炼。凡原报告已交待，而矿建阶段又无进展和新发现的部分，应一律从略，但对新获得的资料必须综合分析。凡与原报告的观点、结论有差异及对今后矿井生产或补充勘探有重要关系的地方，则必须交待清楚。报告可分为文字说明和附图、附表等。

1. 文字说明

文字说明一般分六章。

第一章　概　　论

说明矿井交通位置、范围及四邻关系；井田地质勘探简史、地质报告（或补充勘探报告）提交审批的情况；老窑、火区、喀斯特陷落范围及分布情况；建井期间补充地质工作（包括钻探、物探、巷探）的情况；矿井设计能力，服务年限，开拓方式，水平及采区划分，以及其它有关设计参数等；矿井基建施工单位，开、竣工日期，实际完成的井巷工程量，以及采区和工作面的准备情况等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第二章 井田地质构造特征

井田总的构造特征；开拓区内各主要断层、褶皱（褶曲）、煤层的产状及变化，各主要构造的控制程度及其对煤（岩）层的破坏情况；井田内已控制构造的可靠程度；井田内中、小型构造的特征、规律及其对煤层开采的影响程度；火成岩侵入体的分布、产状，对煤层、煤质的影响情况；喀斯特陷落柱的分布及其对煤层的影响。

第三章 煤系、煤层及煤质特征

煤系：含煤地层时代、厚度、岩性，含煤层数，可采层数，煤层总厚度以及煤系变化情况。

煤层：煤层特征。分层叙述煤层的最小、最大厚度和一般厚度，层间距，结构，顶（底）板岩性及稳定性。

煤质特征。

瓦斯等情况。

第四章 井田水文地质特征

井田水文地质条件及各含水层（组）分布规律和特征；井巷实见涌（突）水点位置、涌（突）水量及处理情况；井巷涌水量与巷道长度的关系；矿井充水因素，涌水量，变化趋势及防治水措施。

第五章 储量与三量计算

储量计算或核算的依据和方法；矿井储量和可采储量（未经修改的块段，按原储量统计）；储量增减情况及其原因。

第六章 结　　论

对建井过程中某些地质问题的结论。

对原地质报告的评价。

尚存在的主要地质问题和对今后矿井地质工作的建议。

如果在建井过程中进行过正式补充勘探或补做地质工作量较大时，应单列章节，较详细地加以叙述和评价。

水文地质条件复杂的矿井，可视具体情况增加必要的水文地质资料和补充评述。

2. 附图

井田地形地质图；回风水平地质切面图；运输水平地质切面图；通过首采区的勘探线地质剖面图（经修改的）；井筒（主井、副井、斜井、平硐）地质素描图；采区上（下）山地质剖面图；首采区煤层底板等高线及储量计算图（急倾斜煤层编绘立面图）；以及水文地质综合性图件。

3. 附表

重算储量的基础表和汇总表；煤质、水质化验成果表；建井期间施工的钻孔成果表。

矿建地质报告是在新井移交前半年，由建井施工单位和接收单位共同组成专门小组负责编制的。报告完成后应报上级地质部门审查，并由新井投产验收委员会批准，移交生产矿井使用。

四、矿井地质报告的主要内容

矿井经过一定时期的开拓、生产和补充勘探，积累了大量原始资料和综合分析资料。对井田地质构造、煤层稳定程度、水文地质及开采技术、经济条件等主要地质问题的认识更切合客观实际。全面、系统地修正和补充原地质报告的基本图、表和文字，对井田地质作出重新评价，对于提高矿井生产的地质保障能力，指导矿井深部和邻区勘探均具重要意义。因此，《矿井地质规程》规定：矿井地质报告一般每8～10a修编一次，并报省（区）煤炭厅（局）批准，提供设计生产部门使用。

矿井地质报告是以井田精查地质报告或原有矿井地质报告为基础，通过对全部勘探和矿井地质资料的系统整理和综合分析研究编制而成的。它在侧重说明已采区构造特征，尤其是小构造发育规律、煤层稳定性及其它影响采掘生产的主要地质问题及其变化规律的基础上，预测未采区构造、煤层及水文地质、开采技术条件的变化，确定矿井的地质、水文地质条件类型；通过探采对比，说明储量计算的准确程度，分析矿井各种储量损失和资源回收情况，评述矿井的服务年限。

报告由文字、附图、附表三部分组成。

1. **报告**文字

报告文字一般分八章。

第一章　绪　　论

第一节　修编地质报告的依据、目的和任务

第二节　井田位置、范围和交通

主要阐明井田的地理位置、井口坐标、井田边界和面积，与邻井关系。扼要说明经过本井田或邻近的铁路、主要公路和水路等。

第三节　自　然　地　理

叙述井田的地形、地貌特征、水文、气象情况等。

第四节　生产建设概况

阐明矿井建设和投产时间、设计能力、核定能力、开拓方式、采煤方法，开拓延深及改扩建历史、服务年限、开采煤层，现生产水平、开拓延深水平和开采范围等。

简述原报告提供和这次修编地质报告时各类储量的情况等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第二章　矿井地质工作

第一节　以往勘探工作简况

简述本井田以往地质勘探工作情况及评价。包括历次勘探（补勘）单位、时间、内容、所采用的方法、手段、主要工作量和质量情况以及存在的主要问题等。

第二节　矿井中小井的开采情况

除按精查地质报告内容编制外，还要叙述需要采取的措施。

第三节　矿井地质及水文地质工作

叙述自上次报告以来所采用的矿井地质与矿井水文地质工作方法，各种主要手段的使用情况、主要工作量以及质量评述。

第四节　对原地质报告的评价

说明原地质报告的提出单位、时间，报告审批单位、时间和审批意见。对勘探方法、勘探类型、工程质量、地质构造、煤层、煤质、水文地质和开采技术条件以及储量计算等作出评价。

第三章　井田地质

第一节　地层

简述井田内地层层序、时代、厚度、岩性及其变化、古生物组合等，叙述地层对比的方法、依据及可靠程度（或对原报告地层对比的评价）。

第二节　含煤地层

详述井田内含煤地层的厚度、岩性、岩相、标志层特征及沿走向、倾向的变化情况等。

第三节　构造

简述区域地质构造基本特征及井田所处的构造位置。

详述井田的基本构造形态、地层产状及其变化、主要褶曲和断层的分布情况。逐个描述井田内主要构造的揭露地点、断层落差或轴向、产状要素、延展方向、生成顺序，断层与褶曲的相互关系，各种工程对构造的控制和研究程度。

井田内小构造的发育规律，与主要构造的关系；评价井田地质构造的复杂程度，构造对煤层、煤质、水文地质及开采技术条件的影响，以及对采掘的影响程度。

第四节　岩　浆　活　动

叙述井田内火成岩赋存类型、时代、名称、产状和分布范围，它与井田构造的关系以及对煤层、煤质的影响，对原勘探资料的评价及掌握的基本规律。

第四章　煤层、煤质及其它有益矿产

第一节　煤　　层

综述含煤地层中煤层的分布特征及组合，煤层的总层数和总厚度、可采煤层层数和总厚度，含煤系数、煤层间距及其变化等。

自上而下详述各可采煤层的层位、间距、厚度、结构，煤层可采范围及其变化规律等；详述各可采煤层的控制研究程度和稳定性（列表说明）。

叙述各煤层顶底板岩性、厚度及变化特点。

第二节　煤　　质

叙述可采煤层的物理性质、煤质、煤岩特征及其沿走向、倾向的变化规律，说明各煤层工业牌号和利用情况，特别是煤质的变化规律及变化界限确定的可靠性。对于复煤层还应叙述其分层对比依据。

煤的有害组分含量及煤的可选性。

简述各煤层风、氧化带的煤质特征、确定依据、现状，评述其利用的可能性。

第三节　其它有益矿产

综述井田内各种共生、伴生有益矿产的赋存情况，评述其利用的可能性。

第五章　矿井水文地质

第一节　区域水文地质概况

简述区域水文地质特征和井田在区域水文地质分区中的位置。

第二节　矿井充水条件

简要说明井田内地表水系流经范围、流量、最高洪水位，与煤层、含水层露头走向的交叉关系。

详细叙述井田内各含水层、隔水层的岩性、厚度、埋藏深度、分布范围及其变化；裂隙、喀斯特的发育程度及其规律；各含水层的富水性、埋藏类型、水位、水量、水质和水温等及其各含水层间的水力联系；评价隔水层的隔水条件。区域地下水补给、径流、排泄对本井田的影响。

叙述断层或断层破碎带的性质、富水性和导水性，以及对矿井充水的影响。

相邻矿井的开采和报废后对本井田的影响。简要说明井田内小煤矿和老窑的分布和开采情况，说明老窑积水和小煤矿的涌水情况，分析其对矿井充水的影响。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第三节　矿井涌水量及预计

详述矿井涌水量的观测地点、观测方法、水量及构成分析，阐述矿井涌水量的变化规律及其与开采面积、深度、产量和降雨量的关系等。

说明矿井涌水量预计方法、依据及结果。

第四节　矿井主要水害及防治

矿井开采受水害的影响程度：叙述矿井开采以来受水害影响情况，主要突水实例（包括突水时间、性质、水源、水量及对生产影响程度），主要水害类型及对采掘的影响程度。

防治水措施：叙述矿井防治主要水害的原则、方案设计、工程量、技术经济效果以及存在问题，评价防治水工作的难易程度和建议。

第五节　供　　水

说明供水水源、水位、水量、水质、供水范围、水泵型号及管路等情况。

第六章　开采技术条件

第一节　开采方法与顶底板条件

简述各可采煤层的开采方法、工程地质特征、煤岩层结构及其它对开采有影响的地质因素。

叙述各可采煤层顶底板岩性、厚度、节理裂隙发育情况、物理力学性质及其变化规律，说明顶板类型和相应的顶板管理方法。

第二节　特　殊　开　采

叙述历年来矿井“三下”开采中，垮落带和导水断裂带高度以及地表移动和变形情况等。

第三节　瓦斯、煤尘和煤的自燃

主要阐明瓦斯含量、煤尘爆炸性指数和煤的自燃发火倾向，同时说明延深水平瓦斯等级确定的依据。

第四节　地　温　与　地　压

简述矿井地温和地压情况、变化规律、与有关地质因素的关系以及防治措施等。

第七章　储　量　计　算

第一节　储量计算范围和工业指标

主要阐明本次储量计算边界、范围、工业指标以及确定依据。

第二节　储量级别划分

叙述储量级别的划分依据，说明与一般原则不同的特殊情况的处理办法。

第三节　储量计算方法与有关参数确定

主要说明储量计算方法和有关参数确定的方法和依据。

第四节　储量计算结果

叙述储量计算的结果、各级储量的数字及其比例关系等。

第五节　储量探采对比与利用

将历年来探明的实际地质储量与历年实际采出量、损失量及各种煤柱煤量进行对比分析，核实储量计算的准确程度；分析矿井资源的回收情况，计算储量的可靠性系数、有效利用系数、矿井回采率和地质、水文地质损失率，据此评述矿井服务年限。

第八章　结　　论

对矿井地质构造规律、煤层赋存条件和水文地质条件等作出评价，阐明地质、水文地质条件分类的综合评定结果。

对储量的可靠程度和利用的技术经济合理性作出评价。

根据地质、水文地质特征，对今后开采技术条件作出评价。

本次矿井地质报告修编中存在问题和建议。

2. **附图**

矿井地形地质图，1：2 000～1：5 000；

矿井含煤地层综合柱状图，1：200～1：1 000；

矿井地质剖面图，1：1 000～1：2 000；

矿井煤岩层对比图，1：200～1：500；

矿井水平地质切面图（适用于煤层倾角＞25°的多煤层矿井），1：2 000～1：5 000；

钻孔柱状图，1：200～1：500；

各生产水平主要石门剖面图，1：200～1：500；

各生产水平主要巷道地质剖面图，1：200～1：500；

井筒柱状图（或剖面图），1：200～1：500；

矿井综合水文地质图，1：2 000～1：10 000；

矿井水文地质剖面图，1：1 000～1：2 000；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

矿井综合水文地质柱状图，1∶200～1∶1 000；

矿井充水性图，1∶2 000～1∶5 000；

矿井涌水量与各种相关因素历时曲线图；

矿井可采煤层底板等高线及储量计算图，1∶2 000～1∶5 000；

矿井可采煤层损失量计算图，1∶2 000；

井上下对照图，1∶2 000～1∶5 000。

此外，根据矿井具体情况，可按需要编制的图件：

矿区地质构造纲要图；矿井火成岩分布图；煤层等厚线图；矿井直接充水含水层水文地质图；矿井含水层等水位线图；矿井防治水工程布置图；抽放水试验综合成果图；煤质主要指标等值线图；煤层瓦斯含量等值线图；地温等值线图；老窑和小煤矿分布图；矿井物探资料图；急倾斜煤层部分附立面投影图或展开图；其它有关图件。

3. 附表

煤层综合成果表；钻孔见煤综合台帐；地质构造综合成果表；煤质化验成果表；矿井历年涌水量统计表；含水层突水点及处理统计表；水质分析综合成果表；各含水层抽（放）水试验综合成果表；封孔不良钻孔统计表；老窑和小煤矿调查表；地表水；地下水动态观测成果表；储量计算基础表和汇总表；矿井历年储量动态和损失量统计表；矿井历年瓦斯鉴定情况表；钻孔坐标成果表；其它有关表格。

矿井地质报告由矿地质部门负责或外聘合作修编。报告完成并经一定程序评审通过后，作为矿井安排采掘生产计划、制订发展规划、进行改扩建和技术改造的地质依据。

第二节　地质说明书

地质说明书是矿井地质部门为各项采掘工程设计、施工和管理提供的地质预测资料。它是在了解采掘工程设计意图和施工要求的基础上，通过对设计、施工地段及其周围勘探和采掘揭露的地质资料系统整理和综合分析研究编制而成的。编制适合矿井建设、生产所需的各种地质说明书是矿井地质工作的重要组成部分。

一、地质说明书的类型与基本要求

（一）地质说明书的类型

根据矿井建设、生产的不同阶段和使用要求，地质说明书可分为矿建（或基建工程）地质说明书、开拓区域（或水平延深）地质说明书、采区地质说明书、掘进地质说明书和回采地质说明书。

（二）编制地质说明书的基本要求

1. 目的明确

地质说明书是矿井建井、开拓、掘进和回采设计、施工和管理的地质依据。因此在编制前，地质人员要通过设计人员详细了解设计意图，明确编制相应地质说明书的目的，以便有针对性地提供地质资料，阐明影响设计、施工的主要地质问题，使编制的地质说明书满足设计、生产的要求。

2. 资料清楚、准确

地质说明书反映的情况和数据要求达到：

十个清楚　地质构造清楚，煤厚、煤质变化清楚，顶底板岩性清楚，火成岩侵入体部位清楚，陷落柱分布范围清楚，井下水、火、瓦斯情况清楚，周围情况清楚，井上下关系清楚，地质研究程度清楚，矿井开发历史清楚。

十个准确　断层位置准确，煤层产状准确，底板标高准确，剖面层位准确，探煤厚度准确，储量计算准确，预计涌水量准确，预计瓦斯量准确，钻孔分布位置及封孔情况准确，井上下位置准确。

其中，应特别注意分析对各种地质情况的控制和研究程度是否满足设计要求，如发现问题，应及时会商解决。

3. 形式简捷、重点突出、使用方便

地质说明书文字表述要言简意赅，尽可能采用统一印制的表格形式，重点突出，有的放矢，对影响采掘工程的地质问题要交待清楚。所附图件要清晰、准确、适用。文图结构要紧凑，最好能装订成册，以方便使用。

4. 用后总结

工程结束后，地质人员要会同设计、采掘技术人员逐一分析地质预测与实际揭露情况的差异，进一步总结地质特征和规律，以不断提高地质说明书的编制质量。

二、各类地质说明书的主要内容

（一）*矿建（或基建工程）地质说明书*

建井施工前，地质人员应按井筒、井底车场、硐室、大巷等工程设计和施工的要求，根据井田精查（或最终）地质报告、井筒检查孔及补充勘探等相关资料，编制出建井（或基建工程）地质说明书，作为建井设计、施工部门选择施工方案、编制井筒、井底车场等施工设计及作业规程，指导井巷施工的地质依据。说明书的重点是反映施工区段的地质构造、岩（土）层组合特征、水文地质及工程地质特征、煤系、煤层赋存情况和影响施工的其它地质因素等。说明书由文字和图件两部分组成。

1. 文字

(1) 施工位置　简述施工地点、工程编号、井筒开拓位置、方向、起止点及其标高和井底车场等开拓工程的具体规定。

(2) 地质情况　阐明施工区段的地质、水文地质情况。如井筒穿过的主要岩（土）层的厚度、岩性、物理力学性质；裂隙发育情况；基岩风化带的特征；可采煤层的层位、厚度、结构及其顶底板岩性、煤层的层间距；井筒及井底附近的断层、裂隙、破碎带及褶曲情况；井筒穿过的含水层，预计涌水量、水位、水温、水质及与地表水体的联系，供水水源、工程地质特征及其它影响施工的地质因素（瓦斯、地温及火成岩侵入体）等。

(3) 注意事项与建议　根据施工区段的地质情况和施工要求，指出设计、施工中应注意的事项，对支护、排水措施等方面提出建议。

2. 图件

工程位置平面图，1∶500或1∶1 000；

井田地层综合柱状图，1∶500或1∶1 000；

立井井筒预想柱状图，1∶200或1∶500；

斜井或平硐预想地质剖面图，1∶200或1∶500；

主要大巷、硐室预想地质剖面图，1∶200或1∶500；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

切过井筒的水文地质剖面图，1：500～1：2 000；

井底车场范围预想水平切面图，1：500或1：1 000。

（二）开拓区域（或水平延深）地质说明书

开拓区域或新水平延深设计前，按设计、施工需要，根据井田地质勘探、建井、生产勘探和邻近已开拓区、上部水平的地质资料，编制出开拓区域（或水平延深）地质说明书，作为矿井开拓设计、施工的地质依据。说明书的重点是开拓区地质构造、煤系和煤层的赋存情况、水文地质及工程地质情况等。说明书包括文字和图件两部分。

1. 文字

（1）概况　新开拓区或水平的位置、范围、上、下水平标高及距地表的深度；与相邻已开采区的关系；与地表主要建筑物和水体的关系；冲积层厚度及岩性特征；含（隔）水层厚度及分布等。

（2）地质构造　开拓区构造总体展布特征；区内断层、褶曲的位置及特征；地层产状及其变化；构造对煤层的影响程度，以及对这些构造的控制程度。

（3）煤层及其顶底板　煤系岩性特点；可采煤层名称、层数、厚度、结构、层间距及其变化；各可采煤层的煤质及其变化；煤层风、氧化带范围及深度；煤层顶底板岩性组合特征、厚度、裂隙发育情况和物理力学性质，含水性与膨胀性等。

（4）水文地质　有无老窑采空区积水；含水层、隔水层的岩性、厚度及其变化；含水层水位、水量及与地表水体的水力联系；开拓区内钻孔的分布及封孔质量；区内预计最大涌水量；各种防、排水措施和意见等。

（5）其它地质情况　火成岩侵入体、喀斯特陷落柱、河流冲刷等的地质特征及其对煤层的破坏；瓦斯含量及预计涌出量，有无瓦斯突出危险煤层；煤尘爆炸性指数、自然发火倾向以及地温情况等。

（6）储量计算　储量计算范围及参数的确定；各可采煤层的工业储量和可采储量；暂不能利用储量及其原因；结合采区划分，按煤层、采区和阶段分别计算和统计各级储量。

（7）存在问题与建议　评述说明书所采用资料的可靠程度；阐明开拓区存在的主要地质问题和进行补充勘探的意见，并对开拓设计、施工提出建议，指出需注意的事项。

2. 图件

井上下对照图（1：2 000或1：5 000），主要反映开拓区的地形、地物与井下开拓部署的空间关系，以便考虑井下开采时煤柱留设、居民点搬迁，制定防排水措施等问题；

地层综合柱状图（1：200或1：500）；

井筒延深部分预想柱状图（1：200）；

有关的地质剖面图（1：1 000或1：2 000），包括穿越开拓区的勘探线剖面图和主要巷道预想剖面图。主要反映各可采煤层、主要含水层的层位和分布、地质构造特征等，作为布置开拓巷道和进行采掘工艺设计的依据；

水平切面图（1：1 000～1：5 000）。急倾斜或倾斜多煤层矿井应附此图。主要反映开拓水平各可采煤层、主要标志层、含水层的分布，地质构造及其相互关系，以作为布置开拓巷道的依据；

各可采煤层底板等高线及储量计算图（1：1 000～1：5 000），煤层倾角大于60°时应附立面投影图。主要反映各煤层的构造形态、断层分布和各级储量分布、块段划分及储量。它

是储量计算和开拓区整体设计的依据。

矿井的新区开拓或水平延深工程量大、费用昂贵，关系到矿井生产的正常接续和稳产高产能否实现，而为开拓设计、施工提供准确可靠的开拓区域（或水平延深）地质说明书，是保证开拓方案合理性和科学性的基础。

（三）采区地质说明书

采区巷道开掘前，按采区设计及掘进施工的要求，根据补充修正后的开拓区域（或延深水平）地质说明书，结合已开拓巷道、邻近采区揭露和生产勘探的地质资料，编制出采区地质说明书，作为采区设计和制定施工作业规程的地质依据。说明书的重点是反映采区内地质构造、煤层厚度、结构及其变化，水文地质情况及其它开采技术条件等。由文字和图件两部分组成。

1. 文字

(1) 采区位置、范围、标高、与邻近采区关系及井上、下对照关系，已有勘探钻孔情况。

(2) 相邻采区实见地质、水文地质情况概述。

(3) 地质构造　采区内煤（岩）层产状变化情况，断层与褶曲的特征、分布范围和现有控制程度，它们将给采区开拓、开采带来的影响。

(4) 煤层　采区内各可采煤层的厚度、结构及其可采范围，特别是对最上部可采薄煤层可采性的预测。

(5) 煤层顶、底板及各煤层的层间距　分层叙述各煤层顶、底板岩性、厚度、含水性及物理力学性质。重点说明各煤层群（组）间的间距和岩性变化情况，以便设计时考虑分组或联合开采的可能性和选择较理想的岩巷开拓层位。

(6) 预测区内可能存在的火成岩侵入体、古河床冲刷等情况。

(7) 水文地质　阐明采区的水文地质条件、有无突水危险性，对防水煤柱和探防水等的要求，并预测采区的最大涌水量和正常涌水量。

(8) 储量。

(9) 针对存在的地质问题，提出注意事项和建议。

2. 图件

采区煤层底板等高线及储量预算图，1∶1 000或1∶2 000；

采区回风和运输水平的水平地质切面图，1∶1 000或1∶2 000；

采区地质剖面图，1∶1 000或1∶2 000；

采区煤岩层综合柱状图，1∶200。

在开拓和采区准备过程中，对地质构造较复杂、煤岩层层位不易掌握、要求较高的主要巷道，在施工前，地质人员应根据勘探和采掘揭露的地质资料，编制出巷道（岩巷）掘进地质说明书，为主要巷道设计、施工提供较可靠的地质资料。说明书也由文字说明和附图组成。重点是说明煤岩层层位、性质、厚度、产状，地质构造和水文地质等方面的情况，并对掘进施工提出具体建议；附图有掘进巷道平面图（1∶1 000或1∶2 000），施工区段煤岩层综合柱状图（1∶200或1∶500），掘进巷道预想地质剖面图（1∶500或1∶1 000）。

由于各矿地质情况、开采方法不同，所以掘进地质说明书的具体内容、繁简程度也不同。一般文字说明部分用表格形式表述，连同必要的附图构成掘进地质说明书（表13—1，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 13—1 韩桥煤矿—270m 北翼大巷掘进地质说明书

位　置	本矿北翼—180m 延深下山皮带机道以北			地面标高	+30～32.0m
邻区情况	本区上部夏桥系、小湖系煤组已采完，太原群煤组为新开拓区				
地面情况	有五号井家属宿舍、旧西排洪道，均无影响				
工程要求	据设计规定：在—270m 车场开口沿 17 层煤掘进，过北一断层后沿 20 层煤掘进				
施工岩石性质	17 层煤（f=1.1）顶板页岩（f=4.8），底板砂质页岩（f=5.6） 20 层煤（f=1.2），顶板灰岩（f=12.8），底板钙质砂岩（f=4.5）				
构　造	自—180m 延深下山向东北方向掘进 320m 左右推测将会遇到北一断层，342°∠70°，落差约 6m 左右				
矿井水	巷道出水，主要是 9 层灰岩水、10 层灰岩裂隙水和北一断层水，揭露 10 层灰岩时预计最大涌水量为 1.5m³/min				
瓦斯涌出量	2.6m³/（d·t）	煤尘爆炸指数	43.87	自燃发生期	无（月）
施工建议	①距北一断层前 15m、距 10 层灰岩垂距 5m 左右，必须打超前钻探放水，对 10 层灰岩应垂直打，视水量大小再考虑布置水平孔 ②钻机窝高度不得小于 3.0m ③在北一断层带两侧应加密棚档				

图 13—1）。

（四）工作面掘进地质说明书

回采工作面设计前，在经修正的采区地质说明书的基础上，充分利用邻近已开掘巷道和钻孔揭露的地质资料，编制出回采工作面（煤巷）掘进地质说明书，作为制定工作面巷道掘进设计、指导施工的地质依据。其重点是工作面地质构造的主要特征及对采掘的影响，煤层厚度、结构及其变化情况，煤层顶、底板，水文地质及其它对采掘有影响的地质问题。说明书由文字和附图两部分组成。

1. 文字

(1) 工作面范围和与邻区、地面的关系。

(2) 区内煤（岩）层产状和地质构造的主要特征及其对工作面的影响，并预测断层落差、掘进找煤方向以及褶曲的位置和形态。

(3) 工作面实见煤层厚度、结构并预测其变化情况。

(4) 煤层顶底板（包括伪顶、直接顶）的岩性、厚度、物理力学性质及其变化情况。

(5) 工作面的水文地质条件，有无突水危险性，主要含水层和导水构造与工作面的关系等。对防水煤柱、探放水等措施提出具体建议，并预计工作面最大涌水量。

(6) 岩浆侵入等对工作面煤层可能造成的破坏情况。

(7) 储量。

(8) 地质、水文地质方面尚存在的问题和对掘进施工的建议及注意事项。

2. 附图

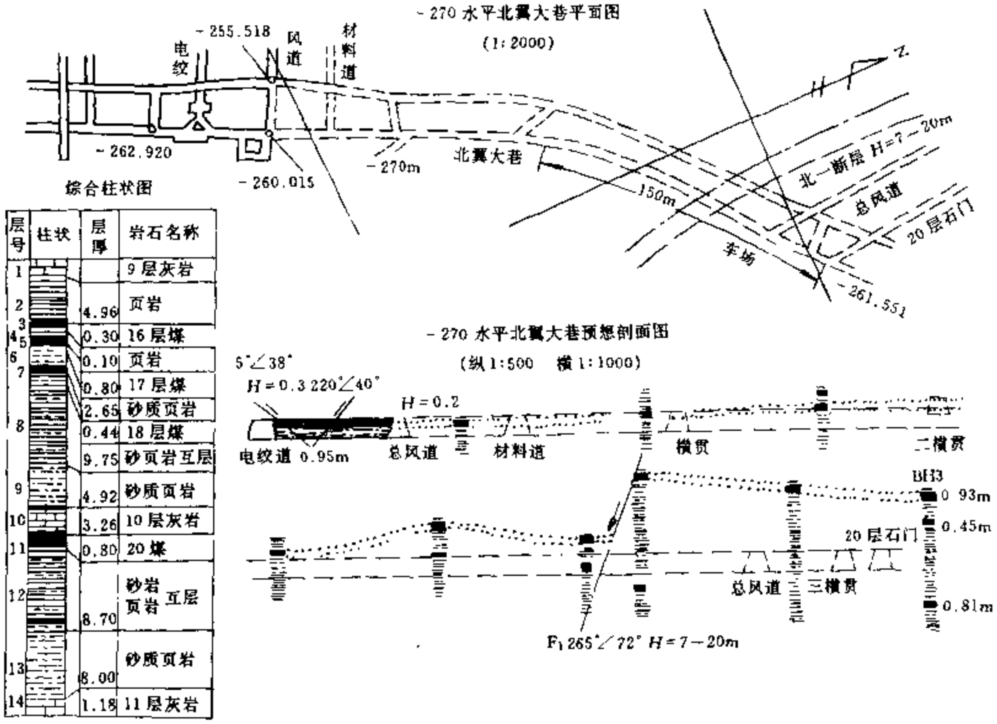


图 13-1 韩桥煤矿—270m 北翼大巷预想剖面图

(引自阎琇璋《煤矿地质学》，1989)

工作面煤层底板等高线及储量预算图，1∶1 000 或 1∶2 000；

有代表性的工作面地质剖面图或局部地质构造剖面图，1∶1 000 或 1∶2 000；

相邻煤层或本煤层群的地层综合柱状图，1∶200。

（五）工作面回采地质说明书

工作面回采前，根据工作面四周巷道的地质编录资料，结合邻近采区、工作面采掘中实际揭露及钻孔资料，编制出工作面回采地质说明书，作为采煤技术人员编制采面作业规程和生产技术管理的地质依据。说明书由文字和附图两部分组成。

1. 文字

（1）工作面位置、范围、面积以及与邻区和地表的关系。

（2）工作面各实见点地质构造的概况，实见或预测的落差大于 2/3 采高的断层向工作面内部发展变化的情况。

（3）各实见点煤层厚度和结构情况以及向工作面内部变化的规律。

（4）各实见点煤层顶板的厚度、岩性、裂隙组的方向和发育情况。

（5）推测工作面内火成岩侵入体、河流冲刷带、陷落柱等的具体位置及其对正常回采或合理分层的影响。

（6）储量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(7) 工作面最大涌水量预测。

(8) 工作面尚存在的地质、水文地质问题和对回采工作的建议及注意事项。

2. 附图

工作面煤层底板等高线及储量计算图，还可依需要填绘煤厚、夹石层厚度、相邻煤层间距等等值线图，1∶1 000或1∶2 000；

回采巷道实测地质剖面图，1∶500；

包括老顶在内的煤岩层综合柱状图，1∶200；

与工作面有关的主要地质剖面图（1∶1 000）及某些地质素描图。

一般文字部分以表格形式表述，连同必要的附图构成工作面回采地质说明书，如图13—2所示。

第十四章　煤矿地质信息技术

近年来，矿井物探、遥感地质和数学地质等信息技术在煤矿地质工作中得到了广泛的应用。信息技术的应用，丰富了解决煤矿地质问题的手段，提高了煤矿地质预测预报的精度和可靠性，为煤矿安全生产提供了保障，并取得了显著的经济效益和社会效益。随着信息技术的不断发展与完善，其必将在煤矿生产中发挥更大的作用。

第一节　矿　井　物　探

传统的地质工作由于其技术的局限性，难以查出对生产具有潜在威胁的隐伏的小型地质构造、煤厚变化等，矿井物探正是在这种情况下应运而生的。我国20余年的经验证明，矿井物探技术用于煤矿生产的超前地质工作不但是必要的，而且是可行的。目前采用的矿井物探方法主要有坑道无线电波透视法、槽波法地震勘探、地质雷达法等。

一、坑道无线电波透视法

坑道无线电波透视法是煤矿生产中较早使用的矿井物探方法，也是众多矿井物探方法中应用较为广泛、效果较好的一种方法。

（一）*方法原理*

坑道无线电波透视法是一种地下电磁波法。这种方法是将高频发射机置于坑道中，由它发射的高频电磁波在地下岩层中传播时，由于各种岩、矿石电性（电阻率ρ、介电常数ϵ等）不同，它们对电磁波能量的吸收作用有一定差异，电阻率低的岩、矿石对电磁波能量吸收作用大；相反，则吸收作用小。另外，断层界面、岩石断裂面、能够对电磁波产生折射、反射和散射等作用，也会造成电磁能量的损耗。导水断裂带还能强烈吸收电磁波。根据上述物理前提，用一个固定频率的电磁波发射器向被探测地质体发射无线电波，在该地质体的另一端接收透过被测地质体的电磁波信号，就能凭借该信号能量的衰减情况，推断地质异常体是否存在。因此，如果在发射机与接收机之间电磁波穿越煤层的途中，存在与煤层电性不同的地质体，如陷落柱、断层或其它地质构造，电磁波能量就会被其吸收或完全屏蔽，信号显著减弱甚至接收不到，形成透视异常（或称“阴影区”）。通过变换发射机与接收机的位置，测得同一异常的“阴影区”，这些“阴影区”交会的地方，就是“异常”的位置（图14－1）。研究煤层、各种岩石以及地质构

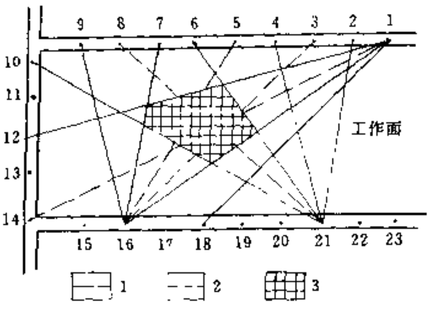


图14－1　坑道无线电波透视法示意图
1－电磁波能量未受到衰减的射线；
2－电磁波能量受到衰减屏蔽的射线；
3－地质异常“阴影区”；1、16、21为发射点；1～23为接收点

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

造对电磁波传播的影响（包括吸收、反射、二次辐射等作用）所造成的各种异常，进行地质推断解释，这就是坑道无线电波透视法的基本原理。

（二）坑道无线电波透视法的应用

70年代初，原重庆煤炭研究所将无线电波透视法应用于探查煤矿井下隐伏的陷落柱、火成岩侵入体、断层及其它地质构造，并与有关单位合作，于1976、1978年先后研制成功WKT－J_1型、WKT－J_2型无线电波坑道透视仪，在我国煤矿井下广泛进行探测方法和应用效果试验。从70年代至今，煤炭科学研究总院重庆分院已先后研制成功WKT－F型轻便防爆无线电波坑道透视仪、WKT－F_3型防爆抗干扰大透距透视仪和WKT－D型大距离智能无线电波透视仪，以及进行资料处理的CT成套技术，具有通讯功能的无线电波透视仪也已研制成功，仪器性能和资料处理技术达到国际先进水平。近20年的实践证明，应用坑道无线电波透视法能够圈定出正常区和异常区，能够发现和探明引起电性变化的多种地质构造，尤其是高、中电阻率煤层中的地质异常体。具体包括：较准确圈定工作面中陷落柱的位置、形状和大小；圈定工作面中断层的分布范围及尖灭点的位置；探测工作面内煤层厚度变化范围及某些火成岩体等。其中，探测陷落柱的准确率达90%以上，断层和煤层变薄带的探测准确率达80%以上。目前，许多煤矿企业已明文规定，综采、机采工作面必须有无线电波透视资料才能批准生产，说明坑道无线电波透视法已成为煤矿生产管理中必不可少的技术手段。

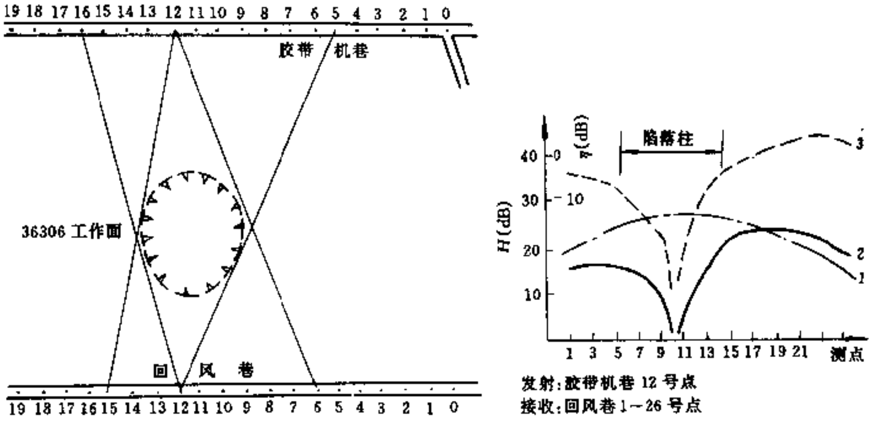


图14－2　坑道无线电波透视法探测陷落柱解释成果图

1—理论场强曲线；2—实测场强曲线；3—衰减系数曲线

坑道无线电波透视法的资料解释是根据透视综合曲线图并结合被测工作面的已有地质资料进行的。透视综合曲线由理论场强（$H°$）、实测场强（H）和衰减系数（η）三条曲线构成。其中，理论场强$H°$是在假定所测煤层为均匀一致的前提下由理论公式计算所得；实测场强H是实际观测所得；衰减系数η是实测场强与理论场强的比值。在正常煤层中η接近1，而遇到地质异常时η值即远离1，因此，可根据η值的大小结合地质条件来分析异常的性质。图14－2是根据透视综合曲线和平面交会法解释圈定陷落柱的成果图。

二、槽波地震法

槽波地震法勘探是煤矿进行地震勘探的特有方法。它是利用在煤层中激发产生、传播并接收槽波的方法来探测采煤工作面前方小断层或其它地质异常。

（一）方法原理

一般情况下，煤层的密度多小于围岩的密度，地震波在煤层中传播速度低，因此，煤与围岩相比是一个明显的低速槽。基于这一特征，可以认为煤层是一个波导，在煤层中激发的地震波将有一部分在顶底板界面上不断出现全反射，由于煤层顶底界面多是平行的，这种全反射过程就会在煤层顶底界面间多次反复地进行，从而形成一个沿煤层（二维方向）向远方传播的特殊波，即槽波。槽波是只在煤层中传播的地震波，也叫煤层波或导波。

在煤层中传播的槽波，遇到两种不同介质的分界面时，将发生波的反射及透射，探测槽波的这种变化，即可确定分界面的位置及规模的大小，这就是槽波地震法勘探的基本原理。

（二）槽波地震法分类

槽波地震法根据其射线传播路径的不同，可分为透射波法和反射波法两类。

1. 透射波法

透射波法是在同一煤层的两条巷道中（包括钻孔、工作面等）分别激发和接收槽波，根据槽波的有无、强弱及速度的变化确定两巷道间有无构造异常存在。如图 14—3 所示，在 A 点激发，B 段接收。第 1、2、3 道可以接收到正常槽波，第 4、5、6 道未接收到槽波，说明第 4 道以前煤层正常，其后的煤层不连续，可能有断距大于煤层厚度的断层存在或有其它地质异常。

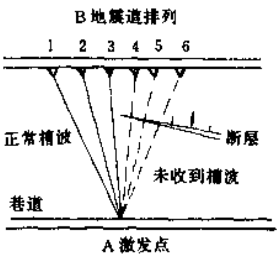


图 14—3 槽波透射波法示意图

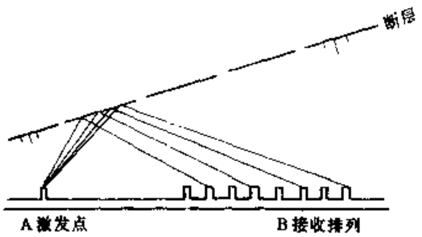


图 14—4 槽波反射波法示意图

透射波法是槽波地震法中最基本、最常用、最重要的方法，可以较为有效地确定两条巷道间的地质构造，准确率达 83%以上，透射距离可达 1 000m 左右。同时，透射波法还能为槽波数据处理提供滤波参数和速度参数，并且对探测区的槽波技术应用前景作出评价。

2. 反射波法

在同一工作面或同一巷道中布置激发点和接收点，当槽波沿煤层传播遇到两种不同岩性的分界面时将产生反射，根据接收到的槽波反射信号的速度和时间，即可确定反射界面的位置（图 14—4）。

反射波法的最大特点在于能超前探测煤层中不连续体的位置。但是由于实际条件的诸多限制，如煤层中不连续体走向与检波器排列方向的夹角是否适宜槽波的接收、反射波法的盲区等，与透射波法相比，效果稍差一些，因此多与透射波法联合应用。反射波法的探

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

测距离可达 400m 左右，准确率可达 63%以上。

（三）槽波地震法的应用

槽波勘探技术目前已发展成为一种成功率很高的煤矿井下探测技术。我国从 70 年代开始此项研究。1982 年研制成功 TYKC－9 型磁带记录槽波地震仪，1986 年，煤炭科学研究总院西安分院从原西德引进 SEAMEX－85 型防爆槽波数字地震仪，在全国众多煤矿开展试验研究，取得了良好的效果。

多年的槽波地震法勘探实践表明，我国的大多数煤矿的煤层和顶底板岩石的物性条件均能形成良好的波导层，适于应用槽波地震法勘探技术，在探测断层、冲刷带、陷落柱等地质小构造方面，成功率在 86%以上。在条件适宜地区，其成功率更高。

图 14－5 为某工作面应用槽波透射波法探测裂隙的成果图。从图中看出，由于裂隙的存在，槽波的速度明显下降。

三、地质雷达法

矿井地质雷达法是在煤矿井下利用电磁波的传播时间来确定反射体（断层、陷落柱、溶洞等）的距离的一种矿井物探方法。它是煤矿井下用于超前探测的有效手段。

（一）方法原理

雷达天线定向发射的高频电磁波在介质中传播，若在传播路径上遇到两种不同介质的分界面时将发生反射，雷达的接收天线可将反射波接收。根据反射波的到达时间及介质中的电磁波传播速度，即可确定地质体的位置。再根据反射波的特性，进行目标识别。图 14－6 为地质雷达探测原理示意图。

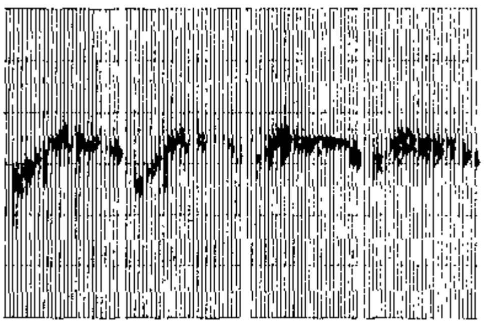


图 14－5　槽波透射波法探测裂隙的波剖面包络

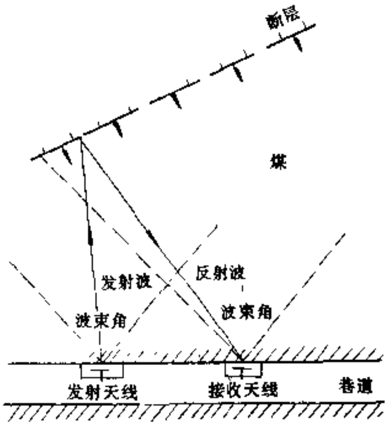


图 14－6　矿井地质雷达探测原理示意图

（二）矿井地质雷达法的应用

我国的矿井地质雷达法研究工作始于 70 年代中期，煤炭科学研究总院重庆分院的地质雷达专题研究小组针对煤矿生产的特点，研制开发出独具特色的 KDL 系列矿井防爆地质雷达仪，目前已推出了 KDL－A、KDL－2、KDL－3、KDL－4 四代产品。与国外 SIR 系列（美国）和 EKKO 系列（加拿大）相比，无论是探测深度、探测精度以及探测方式上都处于领先水平。目前 KDL 系列产品不仅用于煤矿井下生产，而且可用于公路隧道、市政建

设等方面。

地质雷达仪适宜在高阻层状介质中使用。石灰岩和中等变质程度的煤层中应用此方法效果尤为理想。地质雷达法在煤矿井下可用于探测断层、陷落柱、老窑、断裂带、火成岩侵入体等。图 14—7、图 14—8 所示为探测断层和裂隙带的实例，其中，裂隙带位置的探测误差不到 1m，精度较高。

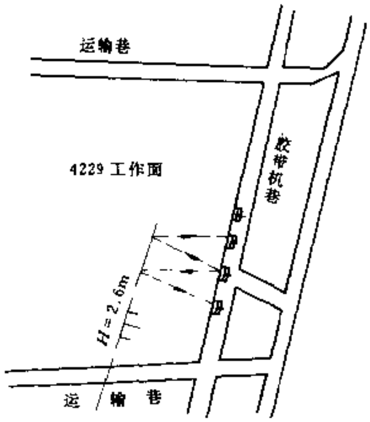


图 14—7 地质雷达法探测工作面内小断层

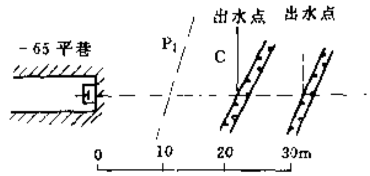


图 14 -8 地质雷达法探测前方充水裂隙

煤矿井下应用地质雷达法有以下两方面的显著特点：①它是超前探测的有效工具，探测距离在 40m 左右；②施工占地面积小，既可进行垂直方向的探测，又可进行水平方向的探测，探测的精度也较高，目标分辨率大于 0.5m。

四、其它方法简介

（一）瑞利波探测法

瑞利波探测法是地震勘探的一个分支，它是 80 年代发展起来的一种新的浅层勘探手段。其实质是根据不同振动频率的瑞利波沿深度方向衰减的差异，通过测量各频率成分（反映不同深度）瑞利波的传播速度来探测不同深度煤、岩层及其中的断层、空洞、老窑、喀斯特洞穴等地质异常体。它的物理前提是基于煤层、煤层的顶底、板岩层以及其它地质异常体的密度和弹性模量等物理参数的不同而导致瑞利波传播速度的差异，特别是喀斯特、断裂和空洞等，因其不具备瑞利波传播的条件，当瑞利波传播到这些位置时会突然消失，因而可以比较容易地识别这些地质异常。

近几年来，煤炭科学研究总院西安分院利用从日本引进的 GR—810 型瑞利波探测仪和自己研制的 MRD—Ⅱ 型防爆瑞利波探测仪对煤矿井下的洞穴、煤厚及工作面前方的构造探测表明，瑞利波探测技术用于煤矿井下探测是可行的、有效的。

瑞利波探测技术的优点在于：①它是一种从地面至地下几十米深范围内或煤矿井下从探测面往前几十米深的浅层弹性波无损探测方法，既可用于分层探测，又可用于构造探测；②施工面积小，移动方便，适于在煤矿井下（包括独头巷道）探测使用；③既可进行垂直方向的探测，又可进行水平方向的探测（如工作面前方的超前探测）；④抗干扰能力强，不

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

受井下各种交流电的干扰；⑤探测精度较高，瑞利波探测的深度误差一般在5%以内。其不足之处是：①对瑞利波探测技术的理论研究尚不够深入；②对复杂多变的地质现象解释经验尚显不足。因此，应进一步深入开展瑞利波探测的理论研究和应用试验，以促进这种方法的发展。

（二）磁偶源电磁频率测深法

磁偶源电磁频率测深法是电磁频率测深方法中的一种，属于交流电法勘探。它是以岩、矿石的电导率、磁导率和介电常数的差异为物理基础，利用电磁感应的趋肤效应，即高频电磁场穿透浅、低频电磁场穿透深的规律，通过改变电磁场频率进行测深，而不是像直流电法勘探那样通过改变供电极距来改变探测深度。其工作原理是由发射机供给不接地磁偶极（发射环）不同频率的交变电流，用以激发电磁场，在距发射源一定距离的接收机通过它的不接地磁偶极（球形天线）观测电磁场的空间分布规律，从而探查地下矿体和各种地质构造。

目前，该项技术开展较好的国家有加拿大、匈牙利和法国等，加拿大、匈牙利联合研制生产的MAXI－PROBE系统在技术及软硬件方面较先进。1986年开滦矿务局引进了该系统，并用于矿区的勘探。1989年煤炭科学研究总院西安分院研制出EM－1型磁偶源频率测深仪及相应的解释软件。几年来在开滦、焦作、兖州及赣西北等矿区探测，取得了较好的效果，磁偶源频率测深法主要用于解释冲积层和煤系地层的分层定厚、奥陶系灰岩埋深、断裂构造等地质及水文地质问题。

该方法的主要优点是：①适于探测高阻屏蔽层下伏的地质构造；②对地层的分辨能力比较强，其垂向分辨能力约为探测深度的5%，水平分辨能力可与反射地震方法相比拟；③场源采用不接地回线，便于在沙漠、冻土、山地等接地困难的地区施工，对低阻层位反映灵敏，探测效果好。

除上述两种方法以外，尚有高分辨率地震勘探、浅层地震勘探、钻孔弹性波CT、测氡技术等多种矿井物探方法，这些方法各有所长，目前还不十分成熟，处于试验、研究阶段。

第二节　数　学　地　质

数学地质是近30年发展起来的运用数学理论和方法研究各种地质现象的数量关系和空间形式的新兴地质学分支学科。数学地质以计算机为工具，用数学方法从量的方面来研究地质学基础理论，解决地质学中的实际问题，近年来已广泛应用于地质学的各个领域，如构造地质学、地层古生物学、沉积学、煤岩学、水文及工程地质学、勘探学及地球物理探矿等，在煤矿地质工作中也得到广泛应用。

一、多元统计分析方法及其在煤矿地质中的应用

多元统计分析方法在数学地质中占有较重要的地位。它是以大量随机现象为研究对象的数学方法。首先，将收集到的地质数据根据工作目的要求进行分析整理，选择必要的数学模型，编制计算程序进行计算机处理，然后将处理结果进行整理，最后进行地质解释。

多元统计分析方法较多，可将其分为四类：

1. 地质属性的分析与综合

这一类主要解决诸变量间的相互关系及其属性的归类划分问题。具体方法有回归分析、

典型相关分析、聚类分析、判别分析、因子分析、对应分析、有序地质量最优分割、非线性映射分析、普分析和数字滤波等。

2. 地质特征的空间分布

主要解决诸地质特征（地层厚度、矿产品位、顶底板标高等）在空间的分布规律，研究地质特征空间分布的方法有趋势面分析、典型趋势面分析、调和趋势面分析、单位向量场分析等。

3. 地质变量的时间变化

主要研究地质变量随时间变化的规律。其主要方法有马尔科夫概型分析、时间序列分析等方法。

4. 地质变量的空间相关

这类统计分析方法主要是指由南非学者D. G. 克里格（D. G. Krige）首创、法国学者G. 马特隆（G. Matheron）加以完善和发展的地质统计学方法。它是以矿石品位和矿床储量的精确估计为主要目的，以矿化现象的空间结构为基础，以区域变量为核心，以变差函数为基本工具的一种数学方法。

在矿井地质工作中，应用多元统计分析方法可以定量地判明煤层、煤质变异性能，构造的序次、等级，以摸清影响煤层变化的主要因素，为矿井生产提供可靠的地质依据。例如，一个矿井若已测得许多煤层厚度数据，就可选用两类判别分析，正确判明煤层是否可采；选用趋势面分析，定量地表达煤厚变化规律。多元统计分析方法还可用于矿井涌水量、顶板下沉量和瓦斯涌出量的预测预报。在矿井地质勘探中，用多元统计分析方法可以进行煤系地层的时代、段和组的划分与对比；确定煤层顶底板界限；查明同沉积构造对含煤沉积的控制作用；研究富煤带的分布规律；研究煤层、煤质与构造之间的相互关系。另外，多元统计分析方法还可用来进行煤层及煤系地层的成因研究和成因分类，为新煤田及其开发前景和开采价值的预测提供依据。

需要指出的是，应用多元统计分析方法解决矿井地质问题之前，必须详细研究当地的地质条件，对所选用的方法要明确其应用条件，对计算结果的解释，要密切结合已有的地质资料。

二、煤矿地质常用的多元统计分析方法

（一）回归分析

回归分析是寻找隐伏在随机现象后面的规律性，建立变量之间数学表达式的一种多元统计分析方法。

变量之间的关系有线性和非线性两种，因此，回归分析就有线性与非线性之分。在许多情况下，非线性回归分析可通过某些简单的变换，转化为线性回归模型，利用求线性回归的方法来解决。如：

$$Y=\alpha X^{\beta}\ （\alpha、\beta 为常数）$$

两边取对数，化为

$$\ln Y=\ln\alpha+\beta\ln X$$

令 $y=\ln Y$，$x=\ln X$，则 Y 与 X 就化为线性关系：

$$y=\ln\alpha+\beta x$$

回归分析的主要内容有以下几方面：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(1) 根据实测数据，确定变量间的定量表达式；

(2) 对定量关系式的可信程度进行统计检验；

(3) 从影响某一个量的若干变量中，判断出影响显著的变量；

(4) 利用所求得的关系式进行预测和控制。

下面以一元线性回归分析为例，简要介绍回归分析的具体步骤。

一元线性回归分析主要是处理两个变量 x，y 之间的关系，如煤的视密度与其灰分含量的关系即为此类。

一元线性回归分析的数学模型为：

$$y=\beta_0+\beta_1 x \quad (\beta_0、\beta_1 \text{为常数}) \tag{14-1}$$

对于给定的一组实测数据，如若确定两个变量之间的定量关系式，即确定上式中的两个参数 β_0、β_1，通常是采用最小二乘法原理来估计式（14—1）中的 β_0、β_1 的值。设 a、b 为参数 β_0、β_1 的最小二乘估计，则得一元线性回归方程：

$$\hat{y}=a+bx \tag{14-2}$$

对于每一组实测数据（x_i，y_i），均可由式（14—2）确定一个回归值 $\hat{y}_i$，y_i 与 $\hat{y}_i$ 的离差平方和：

$$Q\ (a \cdot b)\ =\sum_{i=1}^{n}\ (y_i-\hat{y}_i)^2=\sum_{i=1}^{n}\ (y_i-a-bx_i)^2$$

反映了全部观测值与回归直线的偏离程度。最小二乘法就是使 Q（a，b）最小的一种确定回归系数 a，b 的方法，由此确定的回归直线与实测点的偏离是最小的。由于 Q（a，b）是 a、b 的二元二次非负函数，极小值存在。由微积分学的求极值原理即可将 a、b 之值确定，于是反映两变量之间相互关系的定量表达式就得以确定。

回归方程确定之后，是否具有实际意义，能否用于预测，这需要对回归方程进行判断，判断的方法是显著性检验。显著性检验有 F 检验法和相关系数检验法。检验采用反证法，即先给出相反的结论，假设 y 与 x 无线性关系，通过检验，若否定了原假设，则认为 y 与 x 线性相关；若肯定了原假设，则认为 y 与 x 无相关关系，所建立的回归方程无实际意义。

通过检验为有效的回归方程，就可用其进行预测。所谓预测，就是用回归方程根据变量 x 的取值来预测或控制 y 的取值，并给出一定的精度，即统计学的区间估计问题。对于超出预测范围的 y 值，需注意是否存在地质异常。

一元线性回归分析的特点在于变量单一，运算方便，但未考虑多种因素，因而预测精度较差。对实际问题而言，同因变量 y 有关的变量往往不止一个，如煤的发热量与其自身的碳、氢、氧含量均有关。研究一个变量与多个变量的相关关系问题，称为多元回归问题。多元回归分析在煤矿地质中应用较多，基本原理与一元回归分析相似，只是由于变量的增多使得计算过程要复杂得多。多元回归分析由于综合了多种地质因素，因此精度较高，但在诸多变量中，并非都与 y 的线性关系密切，即对 y 的“贡献”有大小之分。另外，对变量之间的相互影响未予考虑，即没有考虑变量间的相互独立性问题。

逐步回归分析就是针对多元线性回归的不足而提出来的一种建立“最优”回归方程的方法。它的基本思想是，按一定的标准，在众多的变量中，根据其对 y 的密切程度大小逐步选入回归方程，同时又及时将作用不显著的变量剔除掉，从而保证了最终所建立的回归方程中自变量对 y 的贡献均显著（符合给定标准），各自变量间相互独立（不独立的及时剔

除）、是最优的回归方程。

逐步回归分析的具体计算采用的是线性代数中紧凑变换的计算方法，计算量大，须借助计算机实现大量运算。

（二）趋势面分析

趋势面分析是应用数理统计学中多元回归分析的原理，将地质变量区分为区域性变化分量和局部性变化分量，进而研究地质变量的空间分布和变化规律。任何一个地质变量在空间的变化都受区域性和局部性两种地质因素的影响，两种影响叠加在一起不易区分。当我们探索地质变量的规律及成因时，总是希望将区域性的规律变化与小范围的局部变化分开，以利于一些问题的研究和解决。

一个地质变量，如煤层厚度、煤层顶底板标高或构造面高程等在一定的空间范围内分布。若以 Z 表示该地质变量，把二维空间 x、y 地理坐标看作自变量，则 Z 在二维空间的变化必然是一个面，趋势面分析就是根据地质变量 Z 的数值，用一定的数学方法找一个数学面（称为趋势面），去拟合该地质变量客观存在的区域性变化，从而发现其区域性变化规律（用趋势面图表示）；同时，还可将该地质变量的区域性分量去掉，突出局部性分量，从而更清晰地发现和表达局部异常（用偏差图表示）。

根据拟合趋势面函数的不同，趋势面分析分为调和趋势面分析和多项式趋势面分析。前者又称傅里叶级数分析，它以傅里叶级数为基础，通过许多叠加在一起的周期性函数，拟合复杂的曲面，表征地质变量的空间变化趋势；后者用多项式函数拟合地质变量的空间变化趋势，根据自变量个数的不同，又分为一维、二维和三维趋势面分析，而每种又根据拟合多项式最高阶数的不同分为一次、二次、三次等（表 14－1）。

趋势面与回归面在数学上属同一性质，所以趋势面的计算问题同样是确定回归系数。以二维一次为例，设在平面坐标为 (x_i, y_i) $(i=1, 2, \cdots, N)$ 的 N 个点处有 N 个观测值 Z_i，构成一组空间数据组 (x_i, y_i, z_i)，其趋势面方程为：

$$\hat{Z}=a_0+a_1x+a_2y$$

上式中待定系数 a_0、a_1、a_2 的确定同样是根据最小二乘原理，求出使

$$Q=\sum_{i=1}^{n}(Z_i-\hat{Z}_i)^2=\sum_{i=1}^{n}[Z_i-(a_0+a_1x+a_2y)]^2$$

最小所对应的 a_0、a_1、a_2，于是趋势面方程就确定了。

用同样的方法可求出二次、三次、四次等更高次数的趋势面方程。三维趋势面计算的原理与二维类似，只是项数增多，计算更复杂。

对获得的趋势面方程能否反映因变量与自变量之间的客观规律，即是否具有实用价值，尚需进行检验。由于趋势面分析与回归分析在数学本质上相同，因而其显著性检验也相同，多采用 F 检验法。由于趋势面方程项数和次数的增多，显著性检验也有全回归系数检验、单项偏回归效果检验、逐次检验等几种检验方法。全回归系数检验是对趋势面方程总体回归效果的检验；单项偏回归效果检验是对趋势面方程中单项回归效果的检验；逐次检验是检验 $P+1$ 次趋势面的回归效果是否显著，即 $P+1$ 次趋势面对 P 次趋势面有无新的贡献，若无贡献，则无需进行 $P+1$ 次趋势面分析。

在评价回归效果时，还常涉及拟合度的概念。拟合度是指通过计算所得的趋势面方程所代表的数学面与实际观测值资料面的逼近程度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 14-1　多项式趋势分析分类表

维数	自变量个数	趋势面次数	曲线（面）名称	公式	系数个数
一维	1	一	直线	$z=b_0+b_1x$	2
		二	抛物线	$z=b_0+b_1x+b_2x^2$	3
		三	三次曲线	$z=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$	4
		…	……	…………	…
二维	2	一	平面	$z=b_0+b_1x+b_2y$	3
		二	双曲面	$z=b_0+b_1x+b_2y+b_3x^2+b_4xy+b_5y^2$	6
		三	三次曲面	$z=b_0+b_1x+b_2y+b_3x^2+b_4xy+b_5y^2+b_6x^3-b_7x^2y+b_8xy^2+b_9y^3$	10
		…	……	…………	…
三维	3	一	一次超曲面	$z=b_0+b_1x+b_2y+b_3w$	4
		二	二次超曲面	$z=b_0-b_1x+b_2y+b_3w+b_4x^2+b_5xy+b_6xw+b_7yw+b_8y^2+b_9w^2$	10
		三	三次超曲面	$z=b_0+b_1x+b_2y+b_3w+b_4x^2+b_5xy+b_6xw+b_7yw+b_8y^2+b_9w^2+b_{10}x^3+b_{11}y^3+b_{12}w^3+b_{13}x^2y+b_{14}xy^2+b_{15}y^2w+b_{16}yw^2+b_{17}w^2x+b_{18}wx^2+b_{19}xyw$	20
		…	……	…………	…

在进行趋势面方程的计算时，总的离差平方和（$S_{总}$）可分解为回归平方和（$S_{回}$）和剩余平方和（$S_{剩}$）两部分，即

$$S_{总}=\sum_{i=1}^{n}(Z_i-\overline{Z})^2=\sum_{i=1}^{n}(Z_i-\hat{Z}_i)^2+\sum_{i=1}^{n}(Z_i-\overline{Z})^2=S_{剩}+S_{回}$$

式中 $\overline{Z}$ 为 Z_i 的算术平均值；$\hat{Z}_i$ 为 Z_i 对应的回归值。可以看出，$S_{剩}$ 反映了观测值对趋势值的偏离程度，$S_{回}$ 则反映自变量变化引起 Z 的规则变化。因此，拟合度的大小可用 $S_{回}$ 占 $S_{总}$ 的百分比来表示：

$$N_i=\frac{S_{回}}{S_{总}}\cdot 100\%=\left(1-\frac{S_{剩}}{S_{总}}\right)\cdot 100\%$$

需要指出的是拟合度的大小除与自变量和因变量间的相关性有关外，还与数量场的固有特点、观测总数及分布有关。故不能以拟合度的大小简单地判定回归效果的好坏。

通过检验证明回归效果显著的趋势面方程即可进行地质解释。

（三）聚类分析

聚类分析又称簇分析、丛分析、点群分析等。聚类分析最早应用于生物学中的生物分类，随着计算机技术的迅速发展，加之聚类分析自身的计算方便、结果直观，以及其它约束条件少的优越性，在地质工作中得到广泛的应用。

聚类分析是根据变量或标本之间的相似性而将其逐步归类成组，最终得到一个反映样本或变量间亲疏程度的自然谱系图。从数学角度看，聚类分析就是在一个大的对称矩阵中寻找各元素间相关关系的一种数学分类方法，其基本思想是将研究对象看作空间中的不同

点，然后用数学方法经过一定的公式运算，求出各点间的相似性统计量，构成一个对称相似性矩阵，在此矩阵中寻找各点之间、或点组合之间的相似程度，按相似程度大小，逐步把标本归类成群。

举一个简单的例子来说明聚类分析的过程。假定在一个二维空间内（即测定了两个变量）有6个标本，以其坐标值（x_1，x_2）分别点出6个标本的空间位置（图14—9）。以距离作为标本的相似性统计量，则2点与3点、4点与5点的距离最近，先各自聚为一类；然后2点、3点与1点，4点、5点与6点再聚合为A、B两类。最后A、B再聚为一类，其分类结果以二维谱系图直观表示出来（图14—10）。谱系图不仅直观形象地反映了标本间的亲疏关系，而且还定量地表明了标本间的亲疏程度（谱系图的横坐标为聚类的距离水平），方便了地质解释，这就是聚类分析的基本思想与步骤。

聚类分析根据分类对象的不同分为Q型聚类分析和R型聚类分析。Q型聚类分析是对样本进行分类，是比较和确定不同物体（如岩石标本、样品等）之间的关系，将其归类分群；R型聚类分析是对变量进行分类，是把属于物体的各种属性，即各种变量（如岩层厚度、岩石成分等）进行比较，建立不同变量间的关系，对变量进行分类。

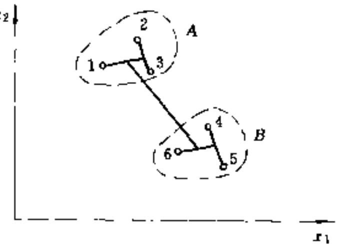


图14—9 聚类分析示意图

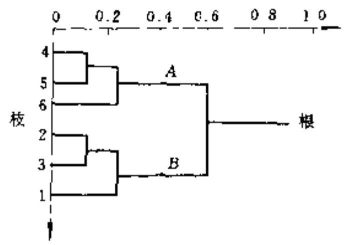


图14—10 谱系图

聚类分析的分类方法有两种，一种是聚合法，一种是划分法。聚合法是先将最相似的研究对象归为一类，然后再将次相似的归为分类级别较高的一组，直到将研究对象全部归类完毕，如上例中的聚类方法即为此种；划分法是先将研究对象分成几大类，每一类再细分，直到把所有研究对象由大到小归类完毕为止。目前一般多采用聚合法。

聚类分析的方法与步骤是：①根据地质研究的需要，取样并进行分析化验，获得聚类分析的原始数据；②对原始数据进行规格化处理，消除不同数据量级和量纲的影响，变成相对一致的数据；③根据研究分类的对象，选择并计算相似性统计量，获得初始相似系数矩阵；④由初始相似性矩阵出发，归并点群并绘制谱系图；⑤选择相似水平，确定研究对象的类型划分。

实测数据的规格化常用的方法有数据的标准化、正规化、均值化及对数变换等。根据实测数据的特点，采用相应的规格化处理方法进行数据变换，使其变为度量一致的相对数值。

聚类分析的依据是样品或变量间的亲疏程度，形成分类系统。衡量其亲疏程度的统计量称为分类统计量。常用的分类统计量有相似系数、相关系数、距离函数、离差平方和增量等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

归并点群形成谱系图的方法有一次计算成群法、逐步计算成群法和叠次计算成群法。

需要指出的是，对研究对象类型的划分必须结合实际问题及研究目的，并结合谱系图选定相似水平对样品或变量进行分类，否则，可能会得到不合理的结果。

（四）判别分析

在地质工作中，经常遇到对研究对象进行分类的问题，如确定一块岩石标本属于哪一类，一套地层应属于哪一个时代，某一煤层应属哪一个层位，一个古生物属于哪个种属等等，判别分析就是解决这类问题的数学分类方法。其基本思想是，将研究对象（某一个体）的各种地质特征同它可能归属的各个类型的地质特征进行对比，以决定其应该归入哪一类。具体做法是，在已知类型（如A、B、C三类）中抽取样本，根据每个样本的多个化验指标（变量）经过数学运算处理，建立每一类的判别函数（区分标准），然后将未知样品相同的化验指标与已知类型相比较，即将其代入判别函数中，看其与哪一类最接近，就将其归属于哪一类。概括起来说，判别分析就是借助于已知类型的若干变量，建立起一个或多个判别函数，从而决定未知对象归属问题的一种多元统计分析方法。

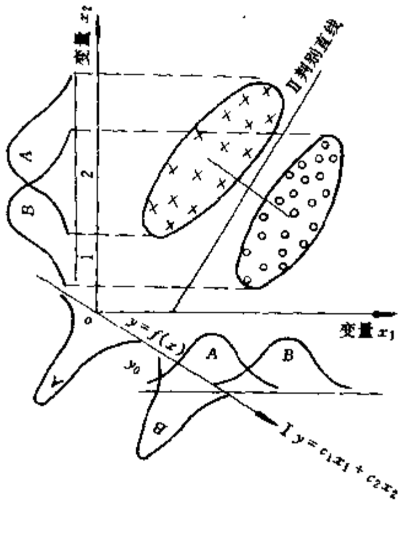


图 14—11 双变量判别分析图解

图14—11为两个母体双变量判别分析的图解。从图中可以看出，两类总体在其中的某一变量上都存在一定的重叠部分，不能明显地加以区分。若将两个变量线性组合，构成一个合适的综合判别指标：

$$y=c_1x_1+c_2x_2$$

最大限度地缩小不易判别的重叠部分，提高正确判别的概率，则称此综合指标为判别函数（图中直线Ⅰ）。可见，判别函数实质上可以将总体的多个变量转换为一个判别计量，即总体在直线Ⅰ上的投影位置。直线Ⅱ与直线Ⅰ的交点 y_0 则代表两类总体的判别值，它将一维空间划分为两个区域，分别为A类和B类总体的分布范围。因此，也可以将判别分析看作是估计每一总体在区分两类或多类总体的最佳直线上的位置的一个方法。

判别分析分为两类判别分析和多类判别分析两种；判别函数分为线性判别函数和非线性判别函数。

判别分析的主要任务之一是求取判别函数。同回归分析中求取回归方程遵循离差平方和最小的原则一样，判别函数的建立也必须遵循某一准则。判别函数建立的准则有许多种，常用的是费歇准则和贝叶斯准则。下面简要介绍费歇准则下的两类判别分析及贝叶斯准则下的多类判别分析。

费歇准则下的两类判别分析主要是解决两类母体分类的方法。它利用 n 个样品的 p 个变量进行线性组合，构成综合指标：

$$y=\sum_{j=1}^{p}c_jx_j,$$

以此区分两类母体和对未知样品进行归类，这个综合指标就是两类线性判别分析的数学模

型。判别分析要求所确定的判别函数应使两总体间差别尽可能大，而两组内差异尽可能小，这就是费歇准则。

在费歇准则下建立的判别函数同样要进行显著性检验。在通过显著性检验即判别函数有效的情况下，还要看其判别效果如何，即对每个已知样品重新用判别函数进行归类判别，给出正确判别率（或错判率），以衡量判别效果。

费歇准则下的两类判别分析是利用一个判别函数将样品归入两类中的某一类，实际上一个样品可能来自多个母体，这时虽然还可用费歇准则下的两类判别思想，但其复杂程度可想而之。而用贝叶斯准则下的多类判别模型则简单得多。在判别分析中，错判是难免的，只是希望由此造成的平均损失或损失的数学期望尽可能地小。贝叶斯准则就是平均损失最小的准则，它对每一母体均建立一个判别函数，未知样品属于某一母体的函数值最大，就将其划归该母体。

第三节 遥 感 地 质

一、遥感技术与遥感地质

遥感技术是随着空间技术、技术物理和信息处理技术的迅速发展而发展起来的，它可以有效地获取资源、环境和各种人类活动的信息。随着信息技术对国民经济和社会发展的作用日益突出，资源和环境问题日益尖锐，遥感技术也愈来愈显示出其重要性。30 多年来，遥感技术在地质工作中的应用越来越广泛、深入，已经形成了一门新的学科——遥感地质学。遥感地质学的产生使整个地学学科发生了革命性的变化，促进了地学学科的迅速发展，使人们有可能从全球整体和大区域整体来研究人们赖以生存的环境和资源。目前，遥感技术已经成为地质工作中必不可少的高新技术手段。

（一）遥感技术

1．遥感技术的概念

所谓遥感技术，是指以现代技术手段对目标物进行遥远感知的整个过程。它通过获得目标物的各种信息，包括电磁辐射信息（发射、吸收、反射和透射）、力场信息（重力、磁力）和机械波信息（地震波、声波）来对其进行识别和探测，这就是广义遥感技术的含义。由于重力、磁力、地震波和声波等遥感技术属航空物探的范畴，已形成专门的领域，因此，狭义的遥感技术专指电磁波辐射遥感技术。它遥感目标物的各种电磁波辐射信息，并将其转换成图象。

遥感技术的初始形式是航空摄影，它广泛地用于地形图测绘、工程和环境研究，以及石油和矿产勘察等方面，它所利用的是电磁波谱的可见波段。20 世纪 60 年代，科技的发展和卫星的应用，使人们可以利用其它波段（包括热红外和微波波段）成象，在更大范围获取更多有价值的信息。

目前，遥感能利用目标物发射或反射的电磁波的波谱范围，主要是从紫外线、可见光、红外线到微波的某些波段的辐射信息。遥感的方式有两种：接收目标物反射太阳辐射或自身发射的电磁波，并根据其信息特征来识别目标物性质的遥感技术，如摄影、摄像、红外扫描等，称被动遥感；接收目标物反射人工辐射电磁波，并根据其信息特征来识别目标物性质的遥感技术，如机载侧视雷达，称为主动遥感。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 遥感技术系统的组成

遥感技术是一门综合性技术，它是由航空航天技术、传感器技术、信息传输、接收、记录、存贮技术、信息处理技术和分析解译技术等高新技术有机地组合起来的一个技术系统(图 14—12)。

遥感技术系统由以下三部分组成。

(1) 星（空）载系统　即信息接收系统，由遥感平台和传感器组成。遥感平台即装载传感器的运载工具。目前，遥感使用的主要运载工具为飞机和卫星，此外还有气球、火箭和地面遥感车等。根据遥感平台性质的不同，可将遥感技术分为航空遥感、航天遥感和地面遥感。传感器即摄影机、扫描仪、雷达等接收电磁波信息的仪器。它是遥感技术的核心部分，它和遥感平台一起，集中代表了现代遥感技术的水平。应用于遥感技术的主要成象传感器有：摄影仪、多波段摄影仪、摄象仪、多波段扫描仪、近红外扫描仪、热红外扫描仪和侧视雷达等。

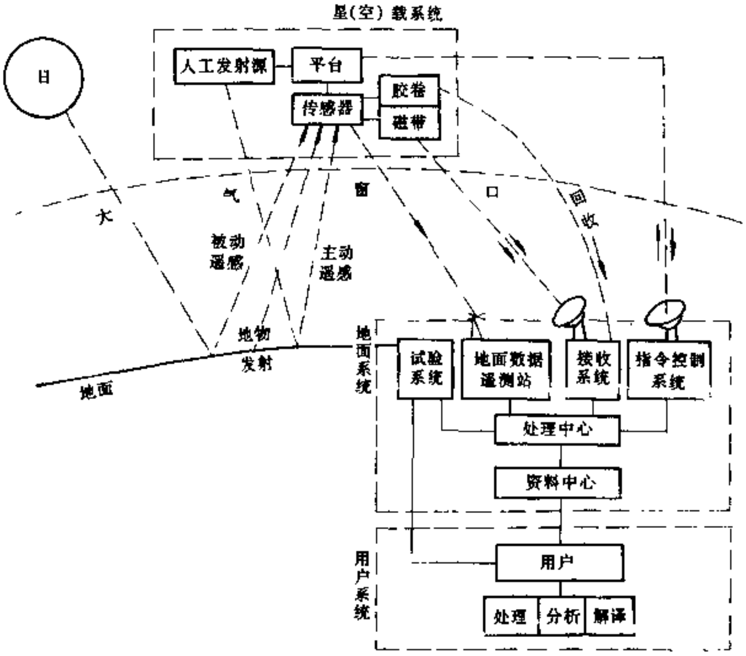


图 14—12　遥感技术系统示意图

(2) 地面系统　即遥感信息接收和预处理系统。该系统要完成对来自星载或空载信息的接收及信息的预处理，并将遥感资料进行贮存。

(3) 用户系统　即遥感资料分析解释系统。用户根据各自的应用目的，对经过预处理的资料进行分析、研究、解释、判断，从中提取有用信息。

从遥感系统的组成可以看出，遥感科学是一门综合性很强的学科。它一方面以技术物理、数学、计算机、航空、航天等学科为基础，另一方面以地学各学科的发展为基础。

3. 遥感的物理基础

遥感技术所探测的是来自目标物的电磁辐射信息，电磁波是能量的一种动态形式，它具有的电磁能只有与物质作用时才表现出来。电磁波以光速（3×10^8m/s）传播，太阳光、各种自然光、灯光等可见光都是电磁波；看不见但能感到的热辐射和只能用仪器测量到的微波，以及无线电波也是电磁波。按照波长、频率、能量大小和物理特征的差别和顺序排列电磁波称为电磁波谱，其能量由大到小的顺序依次为：γ射线、X射线、紫外线、可见光、红外线、微波、无线电波等，地质遥感工作主要应用可见光、红外线和微波波段。

自然界的物质（包括各种地质体），都能进行热辐射，具有发射红外线和微波的能力，同时都具有反射、吸收外来紫外线、可见光、红外线和微波的某些波段的能力。电磁波的一些波段还对某些地质体具有一定的穿透能力。不同的地质体因其物质结构不同，它们发射、吸收、反射和透射电磁波的特征也不同，这就是地质遥感的物理基础。

（二）遥感地质

遥感地质是遥感技术和遥感资料在地质工作中的应用。因此，对地质工作者来说，遥感地质是一种新的技术方法；而对遥感技术系统来说，遥感地质是一种应用技术。遥感技术的出现，为地质、水文等勘测提供了新的手段，为对地球进行大范围的宏观研究，为找矿、找油、找水、找天然气和调查地热资源等创造了有利条件。

遥感技术在地质工作中有着广泛的应用：

利用遥感图象鉴定岩石的种类，是基于不同岩石的反射和发射波谱不同，因此在遥感图象上表现为影象的色调和密度的差异。例如花岗岩在 0.7～0.8μm 波段的遥感图象上的色调较浅，而橄榄岩色调则较深。

利用遥感图象找矿，主要是根据矿床成因类型，结合地球物理特征，寻找成矿线索或缩小找矿范围。由于内生金属矿物的聚集一般是沿着某些特定的地质构造（如断层、裂隙）以及它们的交切带分布的，地表的矿物沉积也会使紧邻的地表发生色调、地热、地磁的异常，因此，利用遥感技术可以把上述地质特征的大多数识别出来，这是通常的地质调查所无法做到的。

利用某些矿物的热异常，可以在遥感图象上将其发现。如煤，由于其含碳量大，故其热辐射大，在遥感图象上表现为白色调的热异常；铜、铅、锌等硫化矿床在氧化过程中释放热量，因此在遥感图象上也有明显表现。

在遥感图象上根据雾状异常发现油田是遥感技术的重要应用之一。在沉积盆地环境中，构造圈闭、含油褶皱、基底脆弱带等部位，多为石油存在部位。

另外，利用遥感技术寻找地下水资源，也是非常有效的方法。大多数隐伏在地下的水源与周围环境在遥感图象上的色调具明显的差异，并且具有一定的形状。如河北蔚县矿区为解决矿区开发建设的缺水问题，采用美国宇航局LANDSAT－5号卫星遥感图象，成功地确定了两处孔隙水水源地和一处喀斯特水水源地，从而缓解了该地区水资源紧张的矛盾。

遥感地质的发展，使地质调查和地质研究发生了深刻的变化，这种变化本身又促进了遥感地质的高速发展。

二、遥感图象的地质解译

地壳表面各种地质体具有不同的波谱特征，这是遥感图象地质解译的基础。遥感图象客观地记录了地质体的多种信息特征，遥感图象的地质解译就是运用地质学原理对遥感图象上所记录的地质信息进行分析研究，从而识别各种地质体和地质现象。目前，我国地质

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

工作中主要是应用航空象片和卫星图象。

在解译过程中，首先要找出和确定可作为判别地质现象的影像特征的标志，这种标志称为地质解译标志。其中，有些标志能直接反映地质体的属性特征，称为直接解译标志，如形状、大小、颜色、阴影等；有些标志是通过间接分析推断来反映地质体的属性特征，称为间接解译标志，如地貌、植被、人类活动等。

地质解译具有较强的综合性，需要利用各种与地质体有关的现象进行综合分析。常用的解译方法有以下几种：

（1）直译法　对遥感图象的地质现象利用解译标志进行直接解译。

（2）对比法　将遥感图象上的地质现象与一套经过实地调查而建立了标准的遥感样片进行对比，进而确定影象的性质。

（3）邻比法　在同一张或相邻较近的遥感图象上进行邻近比较，从而分析推断研究区的一些模糊细节。

（4）逻辑推理法　借助各种地物或自然现象之间的内在联系所表现的现象，用逻辑推理的方法间接判断某一地物或自然现象的存在和属性。

（5）历史对比法　利用不同时间重复成象的遥感图象加以对比分析，从而了解地质情况的变化，如泥石流的活动、岩体滑动等。

遥感图象的地质解译主要包括岩石和构造两方面。

岩石解译是地质解译的基础，也是地质解译中较难的内容，因此，同地貌、构造等地质现象相比其解译效果最差。由于影响因素复杂，解译标志的区域性很强，规律不易把握，但仍有其一般的规律性。如在一般情况下，软弱岩石形成负地形，坚硬岩石形成正地形；酸性火成岩色调较浅，而基性火成岩的色调较深等。此外，不同岩石往往具特有的地貌、形态而极易辨认，一般按岩石的分布、相互关系、颜色、坚硬度、可溶性、透水性、层理、节理，以及它们在地貌形态、土壤、植被方面的特征进行解译。在一个地区，需反复实践才能建立一套解译标志，并与地层解译同时进行。岩性解译的主要内容包括圈定岩石界线，确定其名称、产状和时代，以及岩石的相变接触关系等等。岩石解译的方法首先是把解译地区的松散沉积物圈出来，然后粗略地把三大岩类界线划出来，最后再进行局部地区岩石的详细解译。从三大岩类的解译效果来看，沉积岩的解译效果较好，火成岩次之，变质岩最差。

总之，岩石解译是一项极为细致的工作，解译难度较大，在解译过程中要综合运用各种解译标志才能取得较好的效果。

遥感图象的地质构造信息极为丰富，因此，用遥感图象进行构造解译一般效果较好。在露头良好的条件下，可以从遥感图象上研究个别构造的细节；追索大型构造和编制构造纲要图，则需在象片略图上进行，把各种标志综合起来解译全面的影象。倾斜岩层的产状一般可以从沉积岩所特有的条带影象特征来确定，倾斜岩层在地形上常形成单面山或猪背岭。褶皱构造在遥感图象上往往相当明显直观，褶皱形态清晰，地层依层序对称重复出现或单面山系地貌对称重复出现是判译褶皱构造的重要间接标志。褶曲转折端岩层的产状是判断背斜、向斜的最重要的依据。断裂构造在遥感图象上有清楚的反映，在遥感图象的地质解译中效果最好。断层线、断裂带、节理密集带或节理等断裂构造，在遥感图象上表现为直线或略有弯曲的线形要素，但并不是所有的线性信息都是断裂构造，应根据综合景观标志来识别与分析。如断裂构造可能造成泉的线状分布、地下水浅埋带的线状分布、直而窄的

植物异常带、土壤色调的异常等，这些皆可作为解译断层的综合景观标志。至于断层性质的解译，不同断层的两盘相对位移的解译难易不同。一般来说，断层的水平位移较容易解译，垂直位移解译较难；新断层解译较容易，老断层解译较难。

进行构造解译时应注意以下几点：

(1) 先宏观后微观，即首先从地质图和卫星图象上了解大的构造单元，然后进行航片的中、小型构造解译。航片应包括大、小比例尺两种，一般应先进行小比例尺航片解译，在此基础上再进行大比例尺航片解译。

(2) 在立体象对上解译勾绘构造线，应有地形与构造关系的概念，还应符合地质制图的一些基本原则。

(3) 构造解译与地层有着密切的联系，应始终注意标志层的追索以及岩石层序和连续性问题，这些都是构造解译的可靠依据。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

参 考 文 献

1 李淑达．动力地质学原理．北京：地质出版社，1983.
2 长春地质学院等．地质学基础．北京：地质出版社，1984.
3 徐成彦等．普通地质学．北京：地质出版社，1988.
4 夏邦栋．普通地质学．北京：地质出版社，1995.
5 潘兆橹等．结晶学及矿物学．北京：地质出版社，1984.
6 翟淳．岩石学简明教程．北京：地质出版社，1987.
7 乐昌硕．岩石学．北京：地质出版社，1987.
8 卓越等．矿物岩石学．北京：煤炭工业出版社，1994.
9 傅英祺等．古生物地史学简明教程．北京：地质出版社，1981.
10 全秋琦．简明地史学．武汉：中国地质大学出版社，1993.
11 徐开礼等．构造地质学．北京：地质出版社，1981.
12 谢仁海等．构造地质学．徐州：中国矿业大学出版社，1991.
13 龙荣生．矿井地质学．北京：煤炭工业出版社，1991.
14 罗明扬．地质与矿山地质学．北京：冶金工业出版社，1993.
15 武汉地质学院煤田教研室．煤田地质学．北京：地质出版社，1979.
16 杨起等．中国煤田地质学．北京：煤炭工业出版社，1979.
17 张韬．中国主要聚煤期沉积环境与聚煤规律．北京：地质出版社，1995.
18 白俊仁等．煤质分析．修订本．北京：煤炭工业出版社，1990.
19 北京煤化学研究所．煤质分析应用技术指南．北京：中国标准出版社，1991.
20 中国矿业学院煤田地质勘探教研室．煤矿地质学．北京：煤炭工业出版社，1979.
21 阎琇璋．煤矿地质学．徐州：中国矿业大学出版社，1989.
22 柴登榜等．矿井地质工作手册．北京：煤炭工业出版社，1986.
23 贾喜荣．矿山岩层力学．北京：煤炭工业出版社，1997.
24 淮南煤炭学院等．矿井地质及矿井水文地质．北京：煤炭工业出版社，1979.
25 煤炭科学院建井所注浆室．煤矿注浆技术．北京：煤炭工业出版社，1978.
26 孙立广等．地球与环境科学导论．合肥：中国科技大学出版社，1995.
27 徐增亮．环境地质学．青岛：青岛海洋大学出版社，1992.
28 韦冠俊．矿山环境保护．北京：冶金工业出版社，1990.
29 颜荣贵．地基开采沉陷及地表建筑．北京：冶金工业出版社，1995.
30 赵全福等．煤矿安全手册．北京：煤炭工业出版社，1992.
31 芮素生等．煤炭工业的持续发展与环境．北京：煤炭工业出版社，1994.
32 环保工作者手册编写组．环保工作者实用手册．北京：冶金工业出版社，1984.
33 陶长晖等．煤田普查与勘探．徐州：中国矿业大学出版社，1988.
34 王定武等．煤田地质与勘探方法．徐州：中国矿业大学出版社，1995.
35 储绍良．矿井物探应用．北京：煤炭工业出版社，1995。
36 韩金炎．数学地质．北京：煤炭工业出版社，1987.
37 李冬田．地质遥感．北京：水力电力出版社，1995.
38 《中国大百科全书》总编辑委员会。中国大百科全书．北京：中国大百科全书出版社，1987，1993.
39 《中国煤炭工业百科全书》编辑委员会．中国煤炭工业百科全书．北京：煤炭工业出版社，1996.
40 Press F，Siever R．Earth．Second edition．1978.
41 Robinson，Edwin S．Basic physical Geology．1982.

42 Nockolds S. R, R. W. O'B, Knox, Chinner G A. Petrology. 1978.
43 Folk R L. Petrology of Sedimentary Rocks. 1980.
44 Tucker M E Sedimentary Petrology An Introduction. 1981.
45 Vladimir Bouška. Geochemistry of Coal. 1981.

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载